

CATADIOPTRIC IMAGE-FORMATION OPTICAL SYSTEM, EXPOSURE DEVICE, AND EXPOSURE METHOD

Publication number: JP2004317534 (A)

Publication date: 2004-11-11

Inventor(s): OMURA YASUHIRO

Applicant(s): NIPPON KOGAKU KK

Classification:

- international: G02B17/08; G02B13/14; G02B13/18; G03F7/20; H01L21/027; G02B17/08; G02B13/14; G02B13/18; G03F7/20; H01L21/02; (IPC1-7): G02B17/08; G02B13/14; G02B13/18; G03F7/20; H01L21/027

- European:

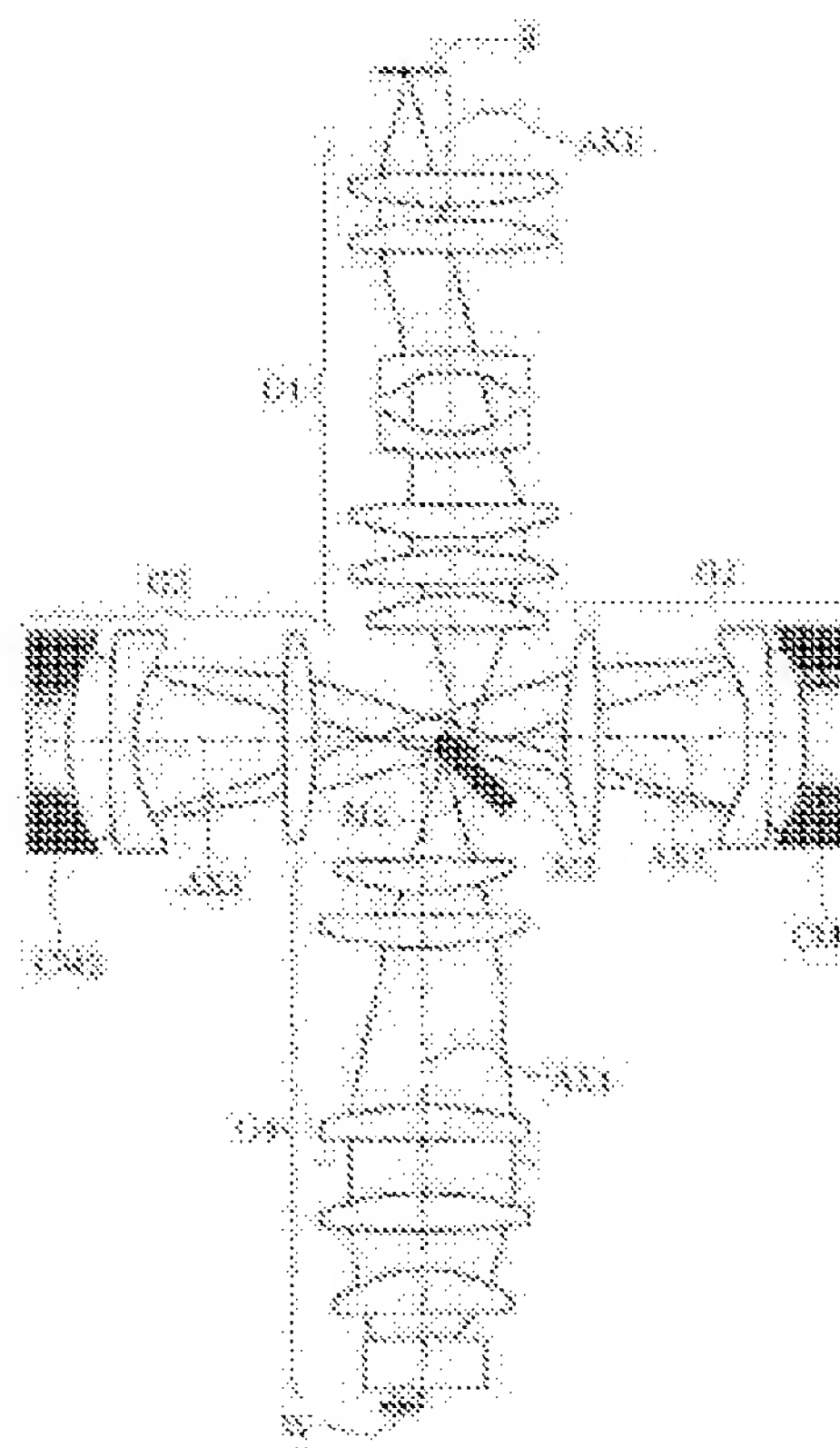
Application number: JP20030107170 20030411

Priority number(s): JP20030107170 20030411

Abstract of JP 2004317534 (A)

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a catadioptric image-formation optical system which has a relatively large numerical aperture in a vacuum ultraviolet-ray wavelength band and is easily optically adjusted and mechanically designed and has various aberrations including chromatic aberration sufficiently compensated and has ≤ 0.1 μm resolution. ; **SOLUTION:** The catadioptric image-formation optical system forms an image of a first surface (R) on a second surface (W) and is provided with; a first imaging optical system (G1) of refraction type for forming a first intermediate image of the first surface; a second imaging optical system (G2) which includes a concave reflecting mirror (CM1) and forms a second intermediate image on the basis of a luminous flux from the first intermediate image; a third imaging optical system (G3) which includes a concave reflecting mirror (CM2) and forms a third intermediate image on the basis of a luminous flux from the second intermediate image; and a fourth imaging optical system (G4) of refraction type for forming the final image on the second surface on the basis of a luminous flux from the third intermediate image. The imaging optical system has an effective imaging area having a prescribed shape, which doesn't include an optical axis (AX4) of the fourth imaging optical system, on the second surface. ;

COPYRIGHT: (C)2005,JPO&NCIP



Data supplied from the *esp@cenet* database — Worldwide

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-317534

(P2004-317534A)

(43) 公開日 平成16年11月11日(2004. 11. 11)

(51) Int. Cl.⁷

G02B 17/08
G02B 13/14
G02B 13/18
G03F 7/20
H01L 21/027

F 1

G02B 17/08 A
G02B 13/14
G02B 13/18
G03F 7/20 521
H01L 21/30 517

テーマコード (参考)

2H087
5F046

審査請求 未請求 請求項の数 21 O L (全 31 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2003-107170 (P2003-107170)
(22) 出願日 平成15年4月11日 (2003. 4. 11)

(71) 出願人 000004112
株式会社ニコン
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
(74) 代理人 100095256
弁理士 山口 孝雄
(72) 発明者 大村 泰弘
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
式会社ニコン内

Fターム(参考) 2H087 KA21 LA01 NA04 PA10 PA15
PA17 PB10 PB15 QA02 QA03
QA07 QA12 QA14 QA21 QA25
QA33 QA34 QA41 QA42 RA05
RA13 UA03
5F046 BA04 BA05 DA12

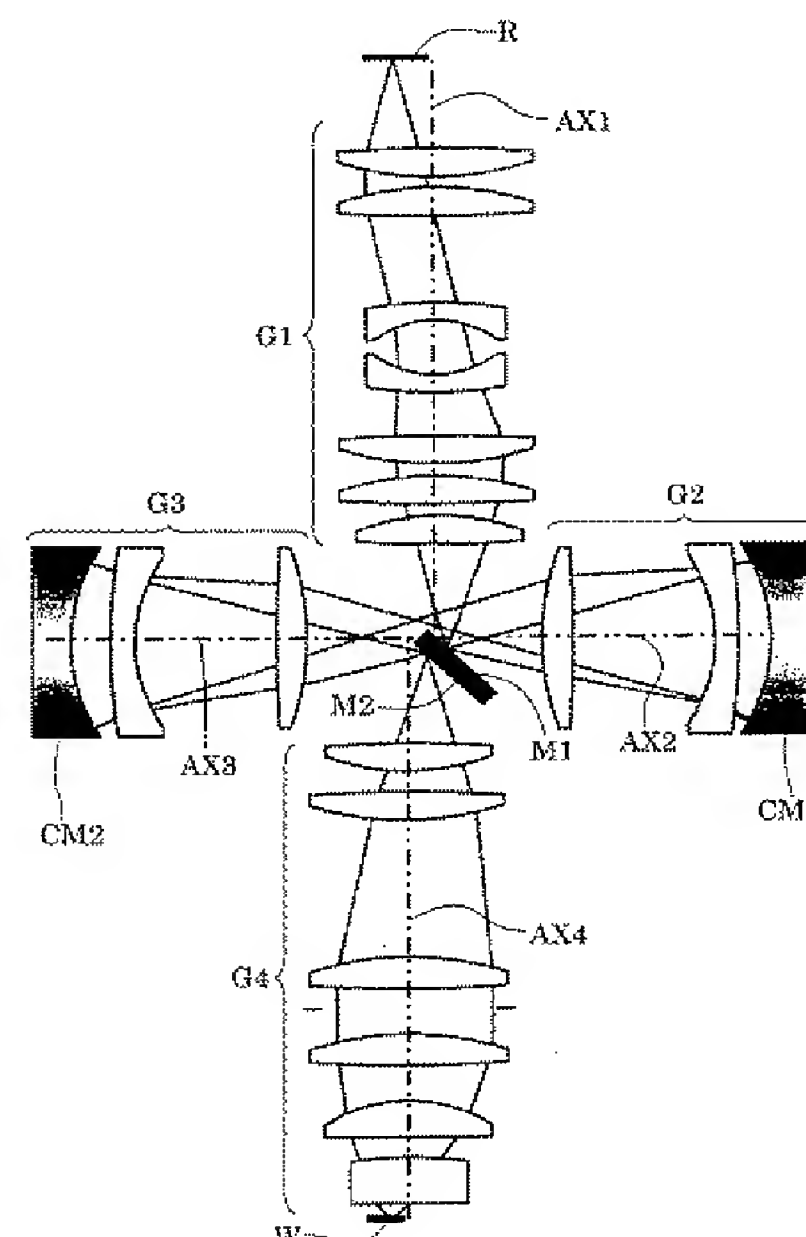
(54) 【発明の名称】 反射屈折型の結像光学系、露光装置、および露光方法

(57) 【要約】

【課題】 真空紫外線波長域で比較的大きな開口数を有し、光学調整および機械設計が容易で、色収差を含む諸収差が十分に補正された、 $0.1\mu\text{m}$ 以下の解像度を有する反射屈折型の結像光学系。

【解決手段】 第1面(R)の像を第2面(W)上に形成する反射屈折型の結像光学系。第1面の第1中間像を形成する屈折型の第1結像光学系(G1)と、凹面反射鏡(CM1)を含み第1中間像からの光束に基づいて第2中間像を形成する第2結像光学系(G2)と、凹面反射鏡(CM2)を含み第2中間像からの光束に基づいて第3中間像を形成する第3結像光学系(G3)と、第3中間像からの光束に基づいて最終像を第2面上に形成する屈折型の第4結像光学系(G4)とを備えている。結像光学系は、第2面上において第4結像光学系の光軸(AX4)を含まない所定形状の有効結像領域を有する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1面の像を第2面上に形成する反射屈折型の結像光学系において、
前記第1面の第1中間像を形成するための屈折型の第1結像光学系と、少なくとも1つの凹面反射鏡を含み前記第1中間像からの光束に基づいて第2中間像を形成するための第2結像光学系と、少なくとも1つの凹面反射鏡を含み前記第2中間像からの光束に基づいて第3中間像を形成するための第3結像光学系と、前記第3中間像からの光束に基づいて最終像を前記第2面上に形成するための屈折型の第4結像光学系とを備え、
前記結像光学系は、前記第2面上において前記第4結像光学系の光軸を含まない所定形状の有効結像領域を有することを特徴とする結像光学系。

【請求項2】

前記有効結像領域は、スリット状または円弧状の形状を有することを特徴とする請求項1に記載の結像光学系。

【請求項3】

前記第1結像光学系と前記第2結像光学系と間の光路中に配置された第1光路折り曲げ鏡と、前記第3結像光学系と前記第4結像光学系と間の光路中に配置された第2光路折り曲げ鏡とをさらに備えていることを特徴とする請求項1または2に記載の結像光学系。

【請求項4】

前記第1光路折り曲げ鏡および前記第2光路折り曲げ鏡は、平面状の反射面をそれぞれ有し、前記第1面からの光束の全部を前記第2面へ導くように構成されていることを特徴とする請求項3に記載の結像光学系。

【請求項5】

前記結像光学系は、偶数枚の反射面を経て前記第1面の像を前記第2面上に形成することを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の結像光学系。

【請求項6】

前記第2結像光学系を構成するすべての光学部材と前記第3結像光学系を構成するすべての光学部材とは単一の光軸に沿って配置されていることを特徴とする請求項1乃至5のいずれか1項に記載の結像光学系。

【請求項7】

前記第1光路折り曲げ鏡の反射面と前記第2光路折り曲げ鏡の反射面とは単一の光学部材に形成されていることを特徴とする請求項3乃至6のいずれか1項に記載の結像光学系。

【請求項8】

前記第1光路折り曲げ鏡の反射面と前記第2光路折り曲げ鏡の反射面とは互いに平行に設けられていることを特徴とする請求項3乃至7のいずれか1項に記載の結像光学系。

【請求項9】

前記第1光路折り曲げ鏡の反射面の法線および前記第2光路折り曲げ鏡の反射面の法線は、前記第1面の法線に対して45度の角度をなすようにそれぞれ設けられていることを特徴とする請求項3乃至8のいずれか1項に記載の結像光学系。

【請求項10】

前記第1光路折り曲げ鏡と前記第2光路折り曲げ鏡とのうちの少なくとも一方はプリズム型裏面反射鏡であることを特徴とする請求項3乃至8のいずれか1項に記載の結像光学系。

【請求項11】

前記第1光路折り曲げ鏡および前記第2光路折り曲げ鏡の双方はプリズム型裏面反射鏡であることを特徴とする請求項10に記載の結像光学系。

【請求項12】

前記プリズム型裏面反射鏡の反射面の法線は、前記第1面の法線に対して48度以上で75度以下の角度をなすように設けられていることを特徴とする請求項10または11に記載の結像光学系。

【請求項13】

前記プリズム型裏面反射鏡の反射面は、入射するすべての光線に対して全反射条件を満足することを特徴とする請求項10乃至12のいずれか1項に記載の結像光学系。

【請求項14】

前記第1光路折り曲げ鏡の反射面と前記第2光路折り曲げ鏡の反射面とは互いに隣接して平行に配置され、前記第1結像光学系の光軸と前記第4結像光学系の光軸とは平行であり、前記第1結像光学系の光軸と前記第4結像光学系の光軸との横ズレ量は1mm以下であることを特徴とする請求項11乃至13のいずれか1項に記載の結像光学系。

【請求項15】

前記第1結像光学系と前記第4結像光学系との間の光路中には、少なくとも1つの負レンズと少なくとも1つの正レンズとが配置され、前記少なくとも1つの負レンズおよび前記少なくとも1つの正レンズは往復光路中に配置されていることを特徴とする請求項1乃至14のいずれか1項に記載の結像光学系。

【請求項16】

前記第2結像光学系は、往復光路中に配置された少なくとも1つの負レンズと、往復光路中に配置された少なくとも1つの正レンズとを含み、前記第3結像光学系は、往復光路中に配置された少なくとも1つの負レンズと、往復光路中に配置された少なくとも1つの正レンズとを含むことを特徴とする請求項1乃至14のいずれか1項に記載の結像光学系。

【請求項17】

前記第2結像光学系および前記第3結像光学系は、凹面反射鏡を1つずつ含み、前記第2結像光学系中の凹面反射鏡の焦点距離を S_1 とし、前記第3結像光学系中の凹面反射鏡の焦点距離を S_2 とすると、

$$0.5 < S_1 / S_2 < 1.5$$

の条件を満足することを特徴とする請求項1乃至16のいずれか1項に記載の結像光学系。

【請求項18】

前記第1面に設定されたマスクを照明するための照明系と、前記マスクに形成されたパターンを前記第2面に設定された感光性基板上に形成するための請求項1乃至17のいずれか1項に記載の結像光学系とを備えていることを特徴とする露光装置。

【請求項19】

前記結像光学系に対して前記マスクおよび前記感光性基板を所定方向に沿って相対移動させて前記マスクのパターンを前記感光性基板上へ投影露光することを特徴とする請求項18に記載の露光装置。

【請求項20】

前記所定方向は、前記第2結像光学系の光軸および前記第3結像光学系の光軸と平行な方向であることを特徴とする請求項19に記載の露光装置。

【請求項21】

前記第1面に設定されたマスクを照明し、請求項1乃至17のいずれか1項に記載の結像光学系を介して前記マスクに形成されたパターンを前記第2面に設定された感光性基板上に投影露光することを特徴とする露光方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、反射屈折型の結像光学系、露光装置、および露光方法に関し、特に半導体素子や液晶表示素子などをフォトリソグラフィ工程で製造する際に使用される露光装置に適した高解像の反射屈折型の投影光学系に関する。

【0002】

【従来の技術】

半導体素子等を製造するためのフォトリソグラフィ工程において、フォトマスクまたはレチクル（以下、総称して「レチクル」という）のパターン像を、投影光学系を介して、フ

ォトレジスト等が塗布されたウェハ（またはガラスプレート等）上に露光する投影露光装置が使用されている。そして、半導体素子等の集積度が向上するにつれて、投影露光装置の投影光学系に要求される解像力（解像度）が益々高まっている。その結果、投影光学系の解像力に対する要求を満足するために、照明光（露光光）の波長を短くするとともに投影光学系の開口数（NA）を大きくする必要がある。

【0003】

たとえば、波長が180nm以下の露光光を用いると、0.1 μ m以下の高解像を達成することが可能である。しかしながら、照明光の波長が短くなると光の吸収が顕著となり、実用に耐え得る硝材（光学材料）の種類は限定される。特に、照明光の波長が180nm以下になると、実用的に使用可能な硝材は蛍石だけに限定される。その結果、屈折型の投影光学系では、単一の硝材を用いることになり、色収差の補正が不可能となる。ここで、屈折型の光学系とは、パワーを有する反射鏡（凹面反射鏡または凸面反射鏡）を含むことなく、レンズ成分のような透過光学部材だけを含む光学系である。

【0004】

上述のように、単一の硝材からなる屈折型の投影光学系では許容色収差に限界があり、レーザー光源の極狭帯化が必須となる。しかしながら、この波長域でのレーザー光の狭帯化は技術的に困難であるだけでなく、レーザー光源のコストの増大および出力の低下は免れない。また、照明光の波長が200nm程度であれば、蛍石に加えて石英ガラスも透過材料として使用可能であるが、屈折光学系では、像面湾曲量を決定するペッツバル条件を満足するために多数の正レンズおよび負レンズを配置する必要があり、大きな像側開口数を得るためにはレンズ径の大型化が避けられない。

【0005】

これに対して、凹面反射鏡は光を収束する光学素子としてパワーは正レンズに対応するが、色収差が生じない点、および像面湾曲量を決定するペッツバル条件への寄与が負値をとる（ちなみに正レンズは正の値をとる）点において、正レンズとは異なる。凹面反射鏡とレンズとを組み合わせる構成された、いわゆる反射屈折光学系では、凹面反射鏡の上述の特徴を光学設計上において最大限に活用し、単純な構成でレンズ径の大型化を招くことなく、色収差の良好な補正や像面湾曲をはじめとする諸収差の良好な補正が可能である。

【0006】

しかしながら、反射屈折光学系では、凹面反射鏡に入射する光束と当該凹面反射鏡から射出される光束とを空間的に分離することが最大の難点であり、この光束分離方式に関連して種々の構成が提案されている。従来、この種の反射屈折光学系の中で、光軸を含まない有効結像領域（露光装置の場合には実効（静止）露光領域）を有し、光束分離を容易にするために光学系の途中で中間像を2回形成して、中間像の近傍で光束を空間的に分離するタイプが、特開平8-62502号公報、国際公開WO01/65926号公報、特開2002-372668号公報に開示されている。

【0007】

【特許文献1】

特開平8-62502号公報

【特許文献2】

国際公開第01/65926号パンフレット

【特許文献3】

特開2002-372668号公報

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、特開平8-62502号公報や国際公開WO01/65926号公報に開示された従来の投影光学系では、凹面反射鏡を1枚のみ含む構成であり、2つの屈折型の結像光学系で生じる色収差を良好に補正し且つペッツバル条件を満足するために、凹面反射鏡の反射面の曲率を大きくする必要がある。その結果、光学系の開口数が大きくなると、凹面反射鏡で生じる収差や、凹面反射鏡が振動した場合に生じる結像性能の劣化が大

きくなるという不都合があった。

【0009】

また、特開平8-62502号公報に開示された従来技術では、マスクとウェハとが垂直になるので、高スループットを実現することが構成上できないという不都合があった。さらに、国際公開W001/65926号公報に開示された従来技術では、ウェハ上に投影されるマスクパターン像が裏面像になるため、倒立像を形成する現在の屈折型投影光学系に適用される通常のマスクを使用することができないという不都合があった。また、特開2002-372668号公報に開示された従来技術では、マスクステージとレンズやミラーとの機械的な干渉を避けるためにマスクと光路分離用ミラーとを大きく離す必要があるが、その場合には光学系の開口数を大きくすることができないという不都合があった。

【0010】

本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、真空紫外線波長域で比較的大きな開口数を有し、光学調整および機械設計が容易で、色収差を含む諸収差が十分に補正された、 $0.1\mu\text{m}$ 以下の解像度を有する反射屈折型の結像光学系を提供することを目的とする。また、本発明は、諸収差が十分に補正されて $0.1\mu\text{m}$ 以下の解像度を有する反射屈折型の結像光学系を用いて、高解像で高精度な投影露光を行うことのできる露光装置および露光方法を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】

前記課題を解決するために、本発明の第1形態では、第1面の像を第2面上に形成する反射屈折型の結像光学系において、

前記第1面の第1中間像を形成するための屈折型の第1結像光学系と、少なくとも1つの凹面反射鏡を含み前記第1中間像からの光束に基づいて第2中間像を形成するための第2結像光学系と、少なくとも1つの凹面反射鏡を含み前記第2中間像からの光束に基づいて第3中間像を形成するための第3結像光学系と、前記第3中間像からの光束に基づいて最終像を前記第2面上に形成するための屈折型の第4結像光学系とを備え、

前記結像光学系は、前記第2面上において前記第4結像光学系の光軸を含まない所定形状の有効結像領域を有することを特徴とする結像光学系を提供する。

【0012】

第1形態の好ましい態様によれば、前記有効結像領域は、スリット状または円弧状の形状を有する。また、前記第1結像光学系と前記第2結像光学系と間の光路中に配置された第1光路折り曲げ鏡と、前記第3結像光学系と前記第4結像光学系と間の光路中に配置された第2光路折り曲げ鏡とをさらに備えていることが好ましい。この場合、前記第1光路折り曲げ鏡および前記第2光路折り曲げ鏡は、平面状の反射面をそれぞれ有し、前記第1面からの光束の全部を前記第2面へ導くように構成されていることが好ましい。

【0013】

また、第1形態の好ましい態様によれば、前記結像光学系は、偶数枚の反射面を経て前記第1面の像を前記第2面上に形成する。また、前記第2結像光学系を構成するすべての光学部材と前記第3結像光学系を構成するすべての光学部材とは単一の光軸に沿って配置されていることが好ましい。また、前記第1光路折り曲げ鏡の反射面と前記第2光路折り曲げ鏡の反射面とは単一の光学部材に形成されていることが好ましい。また、前記第1光路折り曲げ鏡の反射面と前記第2光路折り曲げ鏡の反射面とは互いに平行に設けられていることが好ましい。また、前記第1光路折り曲げ鏡の反射面の法線および前記第2光路折り曲げ鏡の反射面の法線は、前記第1面の法線（または第1乃至第4結像光学系のいずれかの光軸）に対して45度の角度をなすようにそれぞれ設けられていることが好ましい。また、第2結像光学系の光軸と第3結像光学系の光軸とは互いに共軸であることが好ましく、第2および第3結像光学系の光軸は、第1および／または第4結像光学系の光軸と直交することが好ましい。

【0014】

また、第1形態の好ましい態様によれば、前記第1光路折り曲げ鏡と前記第2光路折り曲

げ鏡とのうちの少なくとも一方はプリズム型裏面反射鏡である。この場合、前記第1光路折り曲げ鏡および前記第2光路折り曲げ鏡の双方はプリズム型裏面反射鏡であることが好ましい。また、前記プリズム型裏面反射鏡の反射面の法線は、前記第1面の法線（または第1乃至第4結像光学系のいずれかの光軸）に対して48度以上で75度以下の角度をなすように設けられていることが好ましい。また、前記プリズム型裏面反射鏡の反射面は、入射するすべての光線に対して全反射条件を満足することが好ましい。また、前記第1光路折り曲げ鏡の反射面と前記第2光路折り曲げ鏡の反射面とは互いに隣接して平行に配置され、前記第1結像光学系の光軸と前記第4結像光学系の光軸とは平行であり、前記第1結像光学系の光軸と前記第4結像光学系の光軸との横ズレ量は1mm以下であることが好ましい。

【0015】

また、第1形態の好ましい態様によれば、前記第1結像光学系と前記第4結像光学系との間の光路中には、少なくとも1つの負レンズと少なくとも1つの正レンズとが配置され、前記少なくとも1つの負レンズおよび前記少なくとも1つの正レンズは往復光路中に配置されている。また、前記第2結像光学系は、往復光路中に配置された少なくとも1つの負レンズと、往復光路中に配置された少なくとも1つの正レンズとを含み、前記第3結像光学系は、往復光路中に配置された少なくとも1つの負レンズと、往復光路中に配置された少なくとも1つの正レンズとを含むことが好ましい。また、前記第2結像光学系および前記第3結像光学系は、凹面反射鏡を1つずつ含み、前記第2結像光学系中の凹面反射鏡の焦点距離をS1とし、前記第3結像光学系中の凹面反射鏡の焦点距離をS2とすると、 $0.5 < S1/S2 < 1.5$ の条件を満足することが好ましい。

【0016】

本発明の第2形態では、前記第1面に設定されたマスクを照明するための照明系と、前記マスクに形成されたパターンの像を前記第2面に設定された感光性基板上に形成するための第1形態の結像光学系とを備えていることを特徴とする露光装置を提供する。

【0017】

第2形態の好ましい態様によれば、前記結像光学系に対して前記マスクおよび前記感光性基板を所定方向に沿って相対移動させて前記マスクのパターンの像を前記感光性基板上へ投影露光する。この場合、前記所定方向は、前記第2結像光学系の光軸および前記第3結像光学系の光軸と平行な方向であることが好ましい。

【0018】

本発明の第3形態では、前記第1面に設定されたマスクを照明し、第1形態の結像光学系を介して前記マスクに形成されたパターンを前記第2面に設定された感光性基板上に投影露光することを特徴とする露光方法を提供する。

【0019】

【発明の実施の形態】

図1は、本発明の典型的な態様にしたがう結像光学系の基本的な構成を説明する図である。なお、図1では、本発明の結像光学系が露光装置の投影光学系に適用されているものとする。図1に示すように、本発明の結像光学系（投影光学系）は、第1面に配置された投影原版すなわちレチクルRのパターンの第1中間像を形成するための屈折型の第1結像光学系G1を備えている。

【0020】

第1結像光学系G1が形成する第1中間像の形成位置の近傍には、第1光路折り曲げ鏡M1が配置されている。第1光路折り曲げ鏡M1は、第1中間像へ向かう光束または第1中間像からの光束を第2結像光学系G2に向かって偏向する。第2結像光学系G2は、少なくとも1つの凹面反射鏡CM1を有し、第1中間像からの光束に基づいて第2中間像（第1中間像の像であってレチクルパターンの2次像）を第1中間像の形成位置の近傍に形成する。

【0021】

第2結像光学系G2を介して第2中間像を形成した光束は、第3結像光学系G3に入射す

る。第3結像光学系G3は、少なくとも1つの凹面反射鏡CM2を有し、第2中間像からの光束に基づいて第3中間像（第2中間像の像であってレチクルパターンの3次像）を第1中間像の形成位置の近傍に形成する。第3結像光学系G3が形成する第3中間像の形成位置の近傍には、第2光路折り曲げ鏡M2が配置されている。第2光路折り曲げ鏡M2は、第3中間像へ向かう光束または第3中間像からの光束を屈折型の第4結像光学系G4に向かって偏向する。

【0022】

ここで、第1光路折り曲げ鏡M1の反射面と第2光路折り曲げ鏡M2の反射面とは、空間的に重複しないように位置決めされている。第4結像光学系G4は、第3中間像からの光束に基づいて、レチクルRのパターン像（第3中間像の像であって結像光学系の最終像）を、第2面に配置された感光性基板としてのウェハW上に形成する。レチクルRのパターン像は、第4結像光学系G4の光軸AX4を含まない所定形状（たとえばスリット状または円弧状）の有効結像領域（実効露光領域）内に形成される。

【0023】

本発明では、上述の構成により、大きな開口数を有する反射屈折型の結像光学系における最大の課題である光路分離（光束分離）を、レチクルR側（物体側：第1面側）およびウェハW側（像側：第2面側）の双方において十分な作動距離を保った状態で行うことができる。その結果、本発明では、真空紫外線波長域で比較的大きな開口数を有し、光学調整および機械設計が容易で、色収差を含む諸収差が十分に補正された、 $0.1\mu\text{m}$ 以下の解像度を有する反射屈折型の結像光学系を実現することができる。

【0024】

なお、本発明では、第1結像光学系G1から第2結像光学系G2に至る光路中において第1中間像の近傍に第1光路折り曲げ鏡M1を配置し、第3結像光学系G3から第4結像光学系G4に至る光路中において第3中間像の近傍に第2光路折り曲げ鏡M2を配置することが好ましい。この構成により、実効露光領域（有効結像領域）と光軸との距離、すなわち軸外し量を最小限に抑えることが可能になり、ひいては光学系の小型化を達成することができる。

【0025】

この場合、第1光路折り曲げ鏡M1および第2光路折り曲げ鏡M2は平面状の反射面をそれぞれ有し、レチクルRからの光束の全部をウェハWへ導くように構成されていることが好ましい。この構成により、光量損失の少ない光学系を実現することができ、ひいてはスループットの高い露光を実現することができる。

【0026】

また、本発明では、偶数枚の反射面を経てレチクルRのパターン像をウェハW上に形成することが好ましい。この構成により、ウェハW上にはレチクルRのパターンの表像が形成されるので、現行の屈折型投影光学系に適用される通常のマスクを使用することができる。

【0027】

また、本発明では、第2結像光学系G2の光軸AX2と第3結像光学系G3の光軸AX3とが共通の単一光軸を構成すること、すなわち第2結像光学系G2および第3結像光学系G3を構成する全ての光学部材が単一の光軸に沿って配置されていることが好ましい。この構成により、結像光学系の製造難易度を下げて、高解像な光学系を容易に実現することができる。

【0028】

また、本発明では、第1光路折り曲げ鏡M1の反射面および第2光路折り曲げ鏡M2の反射面を例えば1つの平板の両面として構成すること、すなわち第1光路折り曲げ鏡M1の反射面と第2光路折り曲げ鏡M2の反射面とを単一の光学部材に形成することが好ましい。この構成により、第1結像光学系G1の光軸AX1と第4結像光学系G4の光軸AX4との横ズレを最小限に抑えることができ、ひいては装置搭載後の結像光学系について安定性の向上が確保される。

【0029】

また、本発明では、第1光路折り曲げ鏡M1の反射面と第2光路折り曲げ鏡M2の反射面とが互いに平行になるように設定することが好ましい。この構成により、レチクルRとウェハWとが平行になるので、光学調整および機械設計が容易になるとともに結像光学系の安定性が向上し、ひいてはスループットの高い露光を実現することが可能になる。

【0030】

また、本発明では、第1光路折り曲げ鏡M1の反射面および第2光路折り曲げ鏡M2の反射面がレチクル面に対して45度の角度をなすようにそれぞれ設定することが好ましい。この構成により、第2結像光学系G2の光軸AX2および第3結像光学系G3の光軸AX3が第1結像光学系G1の光軸AX1および第4結像光学系G4の光軸AX4に対して垂直になり、装置搭載後の結像光学系について安定性の向上が確保される。

【0031】

また、本発明では、第1結像光学系G1から第4結像光学系G4に至る光路中に少なくとも1つの負レンズを含むことにより、色収差の良好な補正が可能になる。同様に、第1結像光学系G1から第4結像光学系G4に至る光路中に少なくとも1つの正レンズを含むことにより、第2結像光学系G2中の凹面反射鏡CM1および第3結像光学系G3中の凹面反射鏡CM2をそれぞれ結像の瞳付近に配置することが可能になり、ひいては諸収差の良好な補正が可能になる。なお、結像光学系の構成上、上述の負レンズおよび正レンズはともに往復光路中に配置されていることが好ましい。

【0032】

また、本発明では、第2結像光学系G2および第3結像光学系G3がともに、往復光路中に配置された少なくとも1つの負レンズと少なくとも1つの正レンズとを含むことが好ましい。この構成により、より大きな開口数を確保するとともに、十分に収差補正されたより大きな実効露光領域（有効結像領域）を確保することができる。

【0033】

また、本発明では、第2結像光学系G2および第3結像光学系G3が凹面反射鏡を1つずつ含み、以下の条件式(1)を満足することが好ましい。条件式(1)において、S1は第2結像光学系G2中の凹面反射鏡CM1の焦点距離であり、S2は第3結像光学系G3中の凹面反射鏡CM2の焦点距離である。

$$0.5 < S1/S2 < 1.5 \quad (1)$$

【0034】

条件式(1)を満足することにより、大きな開口数および大きな実効露光領域を確保しつつ、装置の振動等に起因して光学部材が振動した場合にも結像性能の劣化し難い光学系、すなわち振動に対する安定性の高い光学系を実現することができる。なお、本発明における上述の効果をさらに良好に発揮するには、条件式(1)の上限値を1.25に設定し、その下限値を0.75に設定することがさらに好ましい。

【0035】

本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。

図2は、本発明の実施形態にかかる結像光学系を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。本実施形態では、露光装置の投影光学系PLに対して本発明を適用している。図2において、投影光学系PLの基準光軸AXに平行にZ軸を、基準光軸AXに垂直な面内において図2の紙面に平行にY軸を、図2の紙面に垂直にX軸をそれぞれ設定している。

【0036】

図示の露光装置は、紫外領域の照明光を供給するための光源100として、ArFエキシマレーザー光源（発振中心波長193.306nm）またはF₂レーザー光源（発振中心波長157.631nm）を備えている。光源100から射出された光は、照明光学系ILを介して、所定のパターンが形成されたレチクルRを均一に照明する。なお、光源100と照明光学系ILとの間の光路はケーシング（不図示）で密封されており、光源100から照明光学系IL中の最もレチクル側の光学部材までの空間は、露光光の吸収率が低い気体であるヘリウムガスや窒素などの不活性ガスで置換されているか、あるいはほぼ真空

状態に保持されている。

【0037】

レチクルRは、レチクルホルダRHを介して、レチクルステージRS上においてXY平面に平行に保持されている。レチクルRには転写すべきパターンが形成されており、パターン領域全体のうちX方向に沿って長辺を有し且つY方向に沿って短辺を有する矩形状（スリット状）のパターン領域が照明される。レチクルステージRSは、図示を省略した駆動系の作用により、レチクル面（すなわちXY平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はレチクル移動鏡RMを用いた干渉計RIFによって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

【0038】

レチクルRに形成されたパターンからの光は、反射屈折型の投影光学系PLを介して、感光性基板であるウェハW上にレチクルパターン像を形成する。ウェハWは、ウェハテーブル（ウェハホルダ）WTを介して、ウェハステージWS上においてXY平面に平行に保持されている。そして、レチクルR上での矩形状の照明領域に光学的に対応するように、ウェハW上ではX方向に沿って長辺を有し且つY方向に沿って短辺を有する矩形状の露光領域にパターン像が形成される。ウェハステージWSは、図示を省略した駆動系の作用によりウェハ面（すなわちXY平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はウェハ移動鏡WMを用いた干渉計WIFによって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

【0039】

図3は、ウェハ上に形成される矩形状の露光領域（すなわち実効露光領域）と基準光軸との位置関係を示す図である。本実施形態の各実施例では、図3に示すように、基準光軸AXを中心とした半径Bを有する円形状の領域（イメージサークル）IF内において、基準光軸AX（後述する第4結像光学系G4の光軸AX4）からY方向に軸外し量Aだけ離れた位置に所望の大きさを有する矩形状の実効露光領域ERが設定されている。ここで、実効露光領域ERのX方向の長さはLXであり、そのY方向の長さはLYである。

【0040】

換言すると、各実施例では、基準光軸AXからY方向に軸外し量Aだけ離れた位置に所望の大きさを有する矩形状の実効露光領域ERが設定され、基準光軸AXを中心として実効露光領域ERを包括するように円形状のイメージサークルIFの半径Bが規定されている。したがって、図示を省略したが、これに対応して、レチクルR上では、基準光軸AX（後述する第1結像光学系G1の光軸AX1）からY方向に軸外し量Aに対応する距離だけ離れた位置に実効露光領域ERに対応した大きさおよび形状を有する矩形状の照明領域（すなわち実効照明領域）が形成されていることになる。

【0041】

また、図示の露光装置では、投影光学系PLを構成する光学部材のうち最もレチクル側に配置された光学部材（各実施例ではレンズL11）と最もウェハ側に配置された光学部材（各実施例ではレンズL415）との間で投影光学系PLの内部が気密状態を保つように構成され、投影光学系PLの内部の気体はヘリウムガスや窒素などの不活性ガスで置換されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

【0042】

さらに、照明光学系ILと投影光学系PLとの間の狭い光路には、レチクルRおよびレチクルステージRSなどが配置されているが、レチクルRおよびレチクルステージRSなどを密封包囲するケーシング（不図示）の内部に窒素やヘリウムガスなどの不活性ガスが充填されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

【0043】

また、投影光学系PLとウェハWとの間の狭い光路には、ウェハWおよびウェハステージWSなどが配置されているが、ウェハWおよびウェハステージWSなどを密封包囲するケーシング（不図示）の内部に窒素やヘリウムガスなどの不活性ガスが充填されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。このように、光源100からウェハWまでの光

路の全体に亘って、露光光がほとんど吸収されることのない雰囲気が形成されている。

【0044】

上述したように、投影光学系PLによって規定されるレチクルR上の照明領域およびウェハW上の露光領域（すなわち実効露光領域ER）は、Y方向に沿って短辺を有する矩形形状である。したがって、駆動系および干渉計（RIF、WIF）などを用いてレチクルRおよびウェハWの位置制御を行いながら、矩形形状の露光領域および照明領域の短辺方向すなわちY方向に沿ってレチクルステージRSとウェハステージWSとを、ひいてはレチクルRとウェハWとを同じ方向へ（すなわち同じ向きへ）同期的に移動（走査）させることにより、ウェハW上には露光領域の長辺に等しい幅を有し且つウェハWの走査量（移動量）に応じた長さを有する領域に対してレチクルパターンが走査露光される。

【0045】

本実施形態の各実施例において、投影光学系PLは、第1面に配置されたレチクルRのパターンの第1中間像を形成するための屈折型の第1結像光学系G1と、第1凹面反射鏡CM1を含み第1中間像からの光に基づいて第2中間像（第1中間像の像であってレチクルパターンの2次像）を形成するための第2結像光学系G2と、第2凹面反射鏡CM2を含み第2中間像からの光に基づいて第3中間像（第2中間像の像であってレチクルパターンの3次像）を形成するための第3結像光学系G3と、第3中間像からの光に基づいて第2面に配置されたウェハW上にレチクルパターンの最終像（レチクルパターンの縮小像）を形成するための屈折型の第4結像光学系G4とを備えている。

【0046】

なお、各実施例において、第1結像光学系G1と第2結像光学系G2との間の光路中において第1中間像の形成位置の近傍には、第1結像光学系G1からの光を第2結像光学系G2に向かって偏向するための第1光路折り曲げ鏡M1が配置されている。また、第3結像光学系G3と第4結像光学系G4との間の光路中において第3中間像の形成位置の近傍には、第3結像光学系G3からの光を第4結像光学系G4に向かって偏向するための第2光路折り曲げ鏡M2が配置されている。

【0047】

また、各実施例において、第1結像光学系G1は鉛直方向に沿って直線状に延びた光軸AX1を有し、第4結像光学系G4は鉛直方向に沿って直線状に延びた光軸AX4を有し、光軸AX1および光軸AX4はそれぞれ基準光軸AXを構成している。こうして、レチクルRおよびウェハWは、重力方向と直交する面すなわち水平面に沿って互いに平行に配置されている。加えて、第1結像光学系G1を構成するすべてのレンズおよび第4結像光学系G4を構成するすべてのレンズも、基準光軸AX上において水平面に沿って配置されている。

【0048】

一方、第2結像光学系G2は水平方向に沿って直線状に延びた光軸AX2を有し、第3結像光学系G3は水平方向に沿って直線状に延びた光軸AX3を有し、光軸AX2と光軸AX3とは基準光軸AXに垂直な共通の単一光軸を構成している。さらに、第1光路折り曲げ鏡M1および第2光路折り曲げ鏡M2はともに平面状の反射面を有し、2つの反射面を有する1つの光学部材（1つの平行平板）として一体的に構成されている。この2つの反射面は、光軸AX2および光軸AX3がともに水平方向に沿って延びるように、互いに平行に且つレチクル面に対して45度の角度をなすように設定されている。

【0049】

また、各実施例において、非球面は、光軸に垂直な方向の高さを y とし、非球面の頂点における接平面から高さ y における非球面上の位置までの光軸に沿った距離（サグ量）を z とし、頂点曲率半径を r とし、円錐係数を k とし、 n 次の非球面係数を C_n としたとき、以下の数式（a）で表される。各実施例において、非球面形状に形成されたレンズ面には面番号の右側に*印を付している。

【0050】

【数1】

$$z = (y^2 / r) / [1 + \{1 - (1 + \kappa) \cdot y^2 / r^2\}^{1/2}] + C_4 \cdot y^4 + C_6 \cdot y^6 + C_8 \cdot y^8 + C_{10} \cdot y^{10} + C_{12} \cdot y^{12} + C_{14} \cdot y^{14} \quad (a)$$

【0051】

[第1実施例]

図4は、本実施形態の第1実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。図4を参照すると、第1実施例にかかる投影光学系PLにおいて第1結像光学系G1は、レチクル側から順に、両凸レンズL11と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL12と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL13と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL14と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL15と、両凹レンズL16と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL17と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL18と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL19と、両凸レンズL110とから構成されている。

【0052】

また、第2結像光学系G2は、光の進行往路に沿ってレチクル側（すなわち入射側）から順に、両凸レンズL21と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL22と、第1凹面反射鏡CM1とから構成されている。また、第3結像光学系G3は、光の進行往路に沿ってレチクル側（すなわち入射側）から順に、両凸レンズL31と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL32と、第2凹面反射鏡CM2とから構成されている。

【0053】

さらに、第4結像光学系G4は、光の進行方向に沿ってレチクル側から順に、両凸レンズL41と、両凸レンズL42と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL43と、両凹レンズL44と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズL45と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL46と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL47と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL48と、開口絞りASと、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL49と、両凸レンズL410と、両凸レンズL411と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL412と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL413と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL414と、ウェハ側に平面を向けた平凸レンズL415とから構成されている。

【0054】

第1実施例では、投影光学系PLを構成するすべての屈折光学部材（レンズ成分）に石英を使用している。また、光源100として、ArFエキシマレーザー光源を用いている。露光光であるArFエキシマレーザー光の中心波長は193.306nmであり、193.306nm付近において石英の屈折率は、+1pmの波長変化あたり -1.591×10^{-6} の割合で変化し、-1pmの波長変化あたり $+1.591 \times 10^{-6}$ の割合で変化する。換言すると、193.306nm付近において、石英の屈折率の分散（ $dn/d\lambda$ ）は、 $-1.591 \times 10^{-6}/pm$ である。

【0055】

したがって、第1実施例において、中心波長193.306nmに対する石英の屈折率は1.5603261であり、 $193.306nm + 0.4pm = 193.3064nm$ に対する石英の屈折率は1.56032546であり、 $193.306nm - 0.4pm = 193.3056nm$ に対する石英の屈折率は1.56032674である。

【0056】

次の表（1）に、第1実施例にかかる投影光学系PLの諸元の値を掲げる。表（1）において、 λ は露光光の中心波長を、 β は投影倍率（全系の結像倍率）を、NAは像側（ウェハ側）開口数を、BはウェハW上でのイメージサークルIFの半径を、Aは実効露光領域ERの軸外し量を、LXは実効露光領域ERのX方向に沿った寸法（長辺の寸法）を、L

Yは実効露光領域E RのY方向に沿った寸法（短辺の寸法）をそれぞれ表している。

【0057】

また、面番号は物体面（第1面）であるレチクル面から像面（第2面）であるウェハ面への光線の進行する方向に沿ったレチクル側からの面の順序を、 r は各面の曲率半径（非球面の場合には頂点曲率半径：mm）を、 d は各面の軸上間隔すなわち面間隔（mm）を、 n は中心波長に対する屈折率をそれぞれ示している。なお、面間隔 d は、反射される度にその符号を変えるものとする。したがって、面間隔 d の符号は、第1光路折り曲げ鏡M1の反射面から第1凹面反射鏡CM1までの光路中および第2凹面反射鏡CM2から第2光路折り曲げ鏡M2までの光路中では負とし、その他の光路中では正としている。

【0058】

そして、第1結像光学系G1および第4結像光学系G4では、レチクル側に向かって凸面の曲率半径を正とし、凹面の曲率半径を負としている。第2結像光学系G2では、光の進行往路に沿って入射側（レチクル側）に向かって凹面の曲率半径を正とし、凸面の曲率半径を負としている。第3結像光学系G3では、光の進行往路に沿って入射側（レチクル側）に向かって凸面の曲率半径を正とし、凹面の曲率半径を負としている。なお、表（1）における表記は、以降の表（2）においても同様である。

【0059】

【表1】

(主要諸元)

 $\lambda = 193.306 \text{ nm}$ $\beta = 1/4$ $\text{NA} = 0.92$ $B = 16.1 \text{ mm}$ $A = 3.0 \text{ mm}$ $LX = 26.0 \text{ mm}$ $LY = 6.5 \text{ mm}$

(光学部材諸元)

面番号	r	d	n	光学部材
	(レチクル面)	66.8276		
1	811.8407	23.5130	1.5603261	(L 1 1)
2	-404.3993	1.0000		
3	142.2092	15.0009	1.5603261	(L 1 2)
4*	149.9999	19.9334		
5	104.5447	35.4548	1.5603261	(L 1 3)
6	206.5993	28.6562		
7	80.3293	26.0793	1.5603261	(L 1 4)
8	80.0456	37.6206		
9	267.8234	14.0000	1.5603261	(L 1 5)
10	2307.6743	7.4359		
11	-116.7378	20.0000	1.5603261	(L 1 6)
12	1303.4060	19.4766		
13*	-78.3538	20.0992	1.5603261	(L 1 7)
14	-75.3291	1.0000		
15	-251.8428	35.8363	1.5603261	(L 1 8)
16	-99.1148	1.0000		
17	-603.0451	33.9994	1.5603261	(L 1 9)

18	-143.2197	1.0000		
19	635.8007	28.7951	1.5603261	(L 1 1 0)
20	-296.5234	115.0000		
21	∞	-91.7810		(M 1)
22	-263.0992	-50.0000	1.5603261	(L 2 1)
23	933.7394	-327.2622		
24	157.6387	-14.0000	1.5603261	(L 2 2)
25	694.8218	-31.2148		
26	246.5657	31.2148		(CM 1)
27	694.8218	14.0000	1.5603261	(L 2 2)
28	157.6387	327.2622		
29	933.7394	50.0000	1.5603261	(L 2 1)
30	-263.0992	307.4898		
31	321.9068	50.0000	1.5603261	(L 3 1)
32	-581.9364	266.6189		
33	-149.3048	14.0000	1.5603261	(L 3 2)
34	-739.7786	27.9648		
35	-265.0359	-27.9648		(CM 2)
36	-739.7786	-14.0000	1.5603261	(L 3 2)
37	-149.3048	-266.6189		
38	-581.9364	-50.0000	1.5603261	(L 3 1)
39	321.9068	-190.7196		
40	∞	105.5437		(M 2)
41	212.1202	42.0656	1.5603261	(L 4 1)
42	-472.8749	1.0000		
43	698.7870	21.0448	1.5603261	(L 4 2)
44	-1130.9891	1.0000		
45	140.6476	30.6513	1.5603261	(L 4 3)
46*	334.4113	23.7752		

47	-358.2021	14.0000	1.5603261	(L 4 4)
48	113.1019	129.9096		
49	1876.9450	20.0000	1.5603261	(L 4 5)
50*	640.2336	7.6928		
51	340.1497	30.0000	1.5603261	(L 4 6)
52	785.4524	1.0000		
53	303.3047	30.0000	1.5603261	(L 4 7)
54*	673.9180	2.2130		
55	526.1533	30.0000	1.5603261	(L 4 8)
56	2770.8259	4.9500		
57	∞	1.0000		(A S)
58	280.0000	20.0000	1.5603261	(L 4 9)
59	230.8648	37.2461		
60	1041.2434	56.9372	1.5603261	(L 4 1 0)
61	-280.0000	1.6985		
62	420.4877	40.9672	1.5603261	(L 4 1 1)
63	-1500.0000	1.0000		
64	186.5930	46.4686	1.5603261	(L 4 1 2)
65	614.8536	1.0000		
66	131.8238	41.6642	1.5603261	(L 4 1 3)
67*	452.7304	8.0582		
68	349.7270	20.0254	1.5603261	(L 4 1 4)
69	2485.6185	8.3206		
70	926.3131	35.0398	1.5603261	(L 4 1 5)
71	∞	9.0000		

(ウェハ面)

(非球面データ)

4 面

$\kappa = 0$

$$\begin{aligned}
C_4 &= -1.93501 \times 10^{-8} & C_6 &= 4.10214 \times 10^{-13} \\
C_8 &= 3.37768 \times 10^{-17} & C_{10} &= 1.47205 \times 10^{-21} \\
C_{12} &= -9.67691 \times 10^{-27} & C_{14} &= 1.23177 \times 10^{-29}
\end{aligned}$$

13面

 $\kappa = 0$

$$\begin{aligned}
C_4 &= -1.13500 \times 10^{-7} & C_6 &= -1.30871 \times 10^{-11} \\
C_8 &= -2.06677 \times 10^{-15} & C_{10} &= -8.05092 \times 10^{-19} \\
C_{12} &= 2.07751 \times 10^{-22} & C_{14} &= -6.46594 \times 10^{-26}
\end{aligned}$$

46面

 $\kappa = 0$

$$\begin{aligned}
C_4 &= 1.32516 \times 10^{-8} & C_6 &= -6.00277 \times 10^{-14} \\
C_8 &= 6.69806 \times 10^{-18} & C_{10} &= 1.97303 \times 10^{-21} \\
C_{12} &= -1.09693 \times 10^{-25} & C_{14} &= 2.14310 \times 10^{-29}
\end{aligned}$$

50面

 $\kappa = 0$

$$\begin{aligned}
C_4 &= 2.45969 \times 10^{-8} & C_6 &= 9.50349 \times 10^{-13} \\
C_8 &= 2.63480 \times 10^{-17} & C_{10} &= 8.13040 \times 10^{-22} \\
C_{12} &= -4.33936 \times 10^{-26} & C_{14} &= 0
\end{aligned}$$

54面

 $\kappa = 0$

$$\begin{aligned}
C_4 &= 2.43380 \times 10^{-8} & C_6 &= -2.77468 \times 10^{-13} \\
C_8 &= -6.08580 \times 10^{-18} & C_{10} &= -3.15136 \times 10^{-22} \\
C_{12} &= 3.10719 \times 10^{-26} & C_{14} &= -4.72053 \times 10^{-31}
\end{aligned}$$

6 7 面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned} C_4 &= 6.55830 \times 10^{-8} & C_6 &= -1.28843 \times 10^{-12} \\ C_8 &= 1.80674 \times 10^{-16} & C_{10} &= -5.68923 \times 10^{-21} \\ C_{12} &= 1.09183 \times 10^{-25} & C_{14} &= 5.41818 \times 10^{-30} \end{aligned}$$

(条件式対応値)

$$S1 = -123.283 \text{ mm}$$

$$S2 = -132.518 \text{ mm}$$

$$(1) S1/S2 = 0.930$$

【0060】

図5は、第1実施例における横収差を示す図である。収差図において、Yは像高を、実線は中心波長193.3060nmを、破線は193.306nm+0.4pm=193.3064nmを、一点鎖線は193.306nm-0.4pm=193.3056nmをそれぞれ示している。図5の収差図から明らかなように、第1実施例では、比較的大きな像側開口数(NA=0.92)および比較的大きな実効露光領域を確保しているにもかかわらず、波長幅が193.306nm±0.4pmの露光光に対して色収差が良好に補正されていることがわかる。

【0061】

[第2実施例]

図6は、本実施形態の第2実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。図6を参照すると、第2実施例にかかる投影光学系PLにおいて第1結像光学系G1は、レチクル側から順に、両凸レンズL11と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズL12と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL13と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL14と、両凸レンズL15と、両凹レンズL16と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズL17と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL18と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL19と、両凸レンズL110とから構成されている。

【0062】

また、第2結像光学系G2は、光の進行往路に沿ってレチクル側(すなわち入射側)から順に、両凸レンズL21と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL22と、第1凹面反射鏡CM1とから構成されている。また、第3結像光学系G3は、光の進行往路に沿ってレチクル側(すなわち入射側)から順に、両凸レンズL31と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL32と、第2凹面反射鏡CM2とから構成されている。

【0063】

さらに、第4結像光学系G4は、光の進行方向に沿ってレチクル側から順に、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL41と、両凸レンズL42と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL43と、両凹レンズL44と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL45と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL46と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL47と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL48と、開口絞りASと、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL49と、両凸レンズL410と、両凸レンズL411と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL412と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL413と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL414と、ウェハ側に平面を向けた平凸レンズL415とから構成されている。

【0064】

第2実施例では、投影光学系PLを構成するすべての屈折光学部材（レンズ成分）に蛍石（ CaF_2 結晶）を使用している。また、光源100として、 F_2 レーザー光源を用いている。露光光である F_2 レーザー光の中心波長は157.631nmであり、157.631nm付近において蛍石の屈折率は、+1pmの波長変化あたり -2.605×10^{-6} の割合で変化し、-1pmの波長変化あたり $+2.605 \times 10^{-6}$ の割合で変化する。換言すると、157.631nm付近において、蛍石の屈折率の分散（ $dn/d\lambda$ ）は、 $-2.605 \times 10^{-6}/\text{pm}$ である。

【0065】

したがって、第2実施例において、中心波長157.631nmに対する蛍石の屈折率は1.5592267であり、 $157.631\text{nm} + 1\text{pm} = 157.6320\text{nm}$ に対する蛍石の屈折率は1.5592241であり、 $157.631\text{nm} - 1\text{pm} = 157.6300\text{nm}$ に対する蛍石の屈折率は1.5592293である。次の表（2）に、第2実施例にかかる投影光学系PLの諸元の値を掲げる。

【0066】

【表2】

(主要諸元)

 $\lambda = 157.631 \text{ nm}$ $\beta = 1/4$ $\text{NA} = 0.92$ $B = 15.1 \text{ mm}$ $A = 3.5 \text{ mm}$ $LX = 26.0 \text{ mm}$ $LY = 4.2 \text{ mm}$

(光学部材諸元)

面番号	r	d	n	光学部材
	(レチクル面)	66.0693		
1	679.97864	50.0000	1.5592267	(L 1 1)
2	-254.91671	1.2602		
3	136.87184	50.0000	1.5592267	(L 1 2)
4*	97.86967	23.1085		
5	87.07722	32.3664	1.5592267	(L 1 3)
6	180.10813	20.9677		
7	71.06682	18.9851	1.5592267	(L 1 4)
8	77.22102	21.2650		
9	254.68934	15.6823	1.5592267	(L 1 5)
10	-550.33630	9.7852		
11	-101.61195	20.0000	1.5592267	(L 1 6)
12	803.31631	21.1054		
13*	-71.58770	15.3487	1.5592267	(L 1 7)
14	-72.15460	1.0000		
15	-257.65903	40.1864	1.5592267	(L 1 8)
16	-85.71247	11.9491		
17	-643.30575	50.0000	1.5592267	(L 1 9)

18	-147.53820	1.0000		
19	3005.75999	21.8088	1.5592267	(L 1 1 0)
20	-306.23085	115.0000		
21	∞	-90.0000		(M 1)
22	-249.50963	-39.3360	1.5592267	(L 2 1)
23	1020.26944	-354.0733		
24	145.23452	-14.0000	1.5592267	(L 2 2)
25	527.94413	-27.5907		
26	242.05965	27.5907		(CM 1)
27	527.94413	14.0000	1.5592267	(L 2 2)
28	145.23452	354.0733		
29	1020.26944	39.3360	1.5592267	(L 2 1)
30	-249.50963	237.9176		
31	277.75192	49.7439	1.5592267	(L 3 1)
32	-1844.89269	299.1670		
33	-149.06564	16.9629	1.5592267	(L 3 2)
34	-586.77156	27.1873		
35	-252.90899	-27.1873		(CM 2)
36	-586.77156	-16.9629	1.5592267	(L 3 2)
37	-149.06564	-299.1670		
38	-1844.89269	-49.7439	1.5592267	(L 3 1)
39	277.75192	-127.9176		
40	∞	105.5437		(M 2)
41	-663.85419	30.3997	1.5592267	(L 4 1)
42	-317.50081	5.6547		
43	340.15677	34.8925	1.5592267	(L 4 2)
44	-451.99201	1.0000		
45	149.04885	22.7668	1.5592267	(L 4 3)
46*	208.80968	22.7653		

47	-27008.09569	14.0000	1.5592267	(L 4 4)
48	139.84956	156.0508		
49	318.81503	20.0000	1.5592267	(L 4 5)
50*	347.94953	1.0000		
51	236.74090	30.0000	1.5592267	(L 4 6)
52	359.81488	6.5863		
53	253.05692	31.6346	1.5592267	(L 4 7)
54*	1017.42855	7.9122		
55	1351.56200	48.2155	1.5592267	(L 4 8)
56	13826.83933	18.4579		
57	∞	0.7645		(A S)
58	280.00000	20.0000	1.5592267	(L 4 9)
59	204.91488	31.2739		
60	607.54200	48.1283	1.5592267	(L 4 1 0)
61	-343.98798	1.0000		
62	261.57619	42.0666	1.5592267	(L 4 1 1)
63	-14827.79711	1.0000		
64	141.09948	28.8872	1.5592267	(L 4 1 2)
65	187.38867	1.0000		
66	129.98469	40.6352	1.5592267	(L 4 1 3)
67*	253.98890	1.0000		
68	180.96828	39.6487	1.5592267	(L 4 1 4)
69	7698.55873	6.4931		
70	823.73303	15.3345	1.5592267	(L 4 1 5)
71	∞	9.0000		

(ウェハ面)

(非球面データ)

4 面

$\kappa = 0$

$$\begin{aligned}
 C_4 &= -4.92015 \times 10^{-8} & C_6 &= -2.55520 \times 10^{-12} \\
 C_8 &= -1.06304 \times 10^{-16} & C_{10} &= -7.72021 \times 10^{-21} \\
 C_{12} &= -1.75458 \times 10^{-26} & C_{14} &= -1.79711 \times 10^{-28}
 \end{aligned}$$

13面

 $\kappa = 0$

$$\begin{aligned}
 C_4 &= -2.26605 \times 10^{-7} & C_6 &= -4.18692 \times 10^{-11} \\
 C_8 &= -9.76134 \times 10^{-15} & C_{10} &= -2.53829 \times 10^{-18} \\
 C_{12} &= -1.53019 \times 10^{-22} & C_{14} &= -2.27607 \times 10^{-25}
 \end{aligned}$$

46面

 $\kappa = 0$

$$\begin{aligned}
 C_4 &= 8.41666 \times 10^{-9} & C_6 &= 5.58543 \times 10^{-14} \\
 C_8 &= -1.59288 \times 10^{-18} & C_{10} &= -7.49218 \times 10^{-22} \\
 C_{12} &= 1.85002 \times 10^{-26} & C_{14} &= -6.74173 \times 10^{-30}
 \end{aligned}$$

50面

 $\kappa = 0$

$$\begin{aligned}
 C_4 &= 1.44179 \times 10^{-8} & C_6 &= 5.96593 \times 10^{-13} \\
 C_8 &= 2.18944 \times 10^{-17} & C_{10} &= 6.29871 \times 10^{-22} \\
 C_{12} &= 2.35627 \times 10^{-26} & C_{14} &= 0
 \end{aligned}$$

54面

 $\kappa = 0$

$$\begin{aligned}
 C_4 &= 2.38080 \times 10^{-8} & C_6 &= -1.30991 \times 10^{-13} \\
 C_8 &= -6.88446 \times 10^{-18} & C_{10} &= -2.58130 \times 10^{-22} \\
 C_{12} &= -6.62791 \times 10^{-27} & C_{14} &= 1.24738 \times 10^{-30}
 \end{aligned}$$

6 7 面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned} C_4 &= 5.54711 \times 10^{-8} & C_6 &= 3.24600 \times 10^{-12} \\ C_8 &= 3.85499 \times 10^{-17} & C_{10} &= 3.19125 \times 10^{-20} \\ C_{12} &= -3.25636 \times 10^{-24} & C_{14} &= 2.21622 \times 10^{-28} \end{aligned}$$

(条件式対応値)

$$S1 = -121.030 \text{ mm}$$

$$S2 = -126.454 \text{ mm}$$

$$(1) S1/S2 = 0.957$$

【0067】

図7は、第2実施例における横収差を示す図である。収差図において、Yは像高を、実線は中心波長157.6310nmを、破線は157.631nm+1pm=157.6320nmを、一点鎖線は157.631nm-1pm=157.6300nmをそれぞれ示している。図7の収差図から明らかなように、第2実施例においても、比較的大きな像側開口数(NA=0.92)および比較的大きな実効露光領域を確保しているにもかかわらず、波長幅が157.631nm±1pmの露光光に対して色収差が良好に補正されていることがわかる。

【0068】

以上のように、第1実施例では、中心波長が193.306nmのArFエキシマレーザー光に対して、0.92の像側開口数を確保するとともに、ウェハW上において色収差をはじめとする諸収差が十分に補正された26mm×6.5mmの実効露光領域を確保することができる。また、第2実施例では、中心波長が157.631nmのF₂レーザー光に対して、0.92の像側開口数を確保するとともに、ウェハW上において色収差をはじめとする諸収差が十分に補正された26mm×4.2mmの実効露光領域を確保することができる。その結果、各実施例では、たとえば26mm×33mmの露光領域に対して0.1μm以下の高解像で高精度な露光を行うことができる。

【0069】

なお、上述の第1実施例および第2実施例では、第1光路折り曲げ鏡M1および第2光路折り曲げ鏡M2がともに表面反射鏡として構成されている。しかしながら、これに限定されることなく、第1光路折り曲げ鏡M1と第2光路折り曲げ鏡M2とのうちの少なくとも一方をプリズム型裏面反射鏡として構成することもできる。図8は、本発明にしたがう結像光学系において第1光路折り曲げ鏡および第2光路折り曲げ鏡の双方をプリズム型裏面反射鏡として構成した例を示す図である。また、図9は、図8の第1光路折り曲げ鏡および第2光路折り曲げ鏡の構成を拡大して示す図である。

【0070】

図8および図9を参照すると、第1光路折り曲げ鏡として設けられた第1光路折り曲げプリズムP1は、いわゆるプリズム型裏面反射鏡であって、入射面IS1と、内面反射面(裏面反射面)RS1と、射出面OS1とを有する。ここで、入射面IS1は、第1結像光学系G1の光軸AX1に対して垂直になるように、言い換えるとレチクルR(第1面)に対して平行になるように位置決めされている。また、射出面OS1は、第2結像光学系G2の光軸AX2に対して垂直になるように位置決めされている。そして、内面反射面RS1の法線は、レチクルR(第1面)の法線に対して48度以上で75度以下の角度をなすように、言い換えると第1結像光学系G1の光軸AX1に対して48度以上で75度以下の角度をなすように位置決めされている。この構成により、第1結像光学系G1からの光は、第1光路折り曲げプリズムP1の入射面IS1を経て、内面反射面RS1で反射され

た後、その射出面OS1から射出され、第2結像光学系G2へ向かう。

【0071】

一方、第2光路折り曲げ鏡として設けられた第2光路折り曲げプリズムP2もプリズム型裏面反射鏡であって、入射面IS2と、内面反射面RS2と、射出面OS2とを有する。ここで、入射面IS2は、第3結像光学系G3の光軸AX3に対して垂直になるように位置決めされている。また、射出面OS2は、第4結像光学系G4の光軸AX4に対して垂直になるように、言い換えるとウェハW（第2面）に対して平行になるように位置決めされている。そして、内面反射面RS2の法線も内面反射面RS1の法線と同様に、レチクルR（第1面）の法線に対して48度以上で75度以下の角度をなすように、言い換えると第1結像光学系G1の光軸AX1または第4結像光学系の光軸AX4に対して48度以上で75度以下の角度をなすように位置決めされている。

【0072】

なお、図9に明瞭に示すように、第1光路折り曲げプリズムP1の内面反射面RS1と第2光路折り曲げプリズムP2の内面反射面RS2とは、互いに平行に且つ僅かに離間するように配置されている。図9では、2つのプリズムP1とP2とがあたかも貼り合わされているように見えるが、貼り合せると全反射しなくなるため、実際には2つのプリズムP1とP2とは僅かに離間している。また、第1結像光学系G1の光軸AX1と第4結像光学系の光軸AX4とは、互いに平行であり厳密には共軸を構成していないが、光軸AX1と光軸AX4との横ズレ量は1mm以内に抑えられ、実質的に共軸とみなすことができる。もちろん、第1結像光学系G1の光軸AX1と第4結像光学系の光軸AX4とが共軸になるように構成しても良い。なお、内面反射面RS1およびRS2の外側面にアルミニウムなどの反射膜を形成しても良い。また、2つの光路折り曲げプリズムP1とP2とのうちの一方を、表面反射鏡として構成しても良い。

【0073】

一般に、第1光路折り曲げ鏡や第2光路折り曲げ鏡では入射光の角度範囲が広いため、これらの反射鏡を表面反射鏡として構成する場合は、金属を基板とした反射面を形成することになる。しかしながら、この場合、ArFエキシマレーザー光やF₂レーザー光の照射により、反射コートの酸化等に起因して反射率が低下し易い。裏面反射鏡では酸化等に起因する反射率低下が本来的に起こらないため、耐久性に優れており、本発明の結像光学系に好適である。したがって、本発明において、反射率低下を回避して優れた耐久性を確保するために、第1光路折り曲げ鏡と第2光路折り曲げ鏡とのうちの少なくとも一方がプリズム型裏面反射鏡であることが好ましく、その双方がプリズム型裏面反射鏡であることがさらに好ましい。

【0074】

また、本発明では、プリズム型裏面反射鏡の裏面反射面が、入射する全光線に対して全反射条件を満足することが好ましい。この構成により、光路折り曲げ鏡における光量損失を減らし、照射光によるプリズム形状の熱変化を防ぐことができる。具体的には、プリズム型裏面反射鏡の反射面の法線はレチクルR（第1面）の法線に対して48度以上の角度をなすことが好ましい。この構成により、像側に大きな開口数を有する光学系であっても、裏面反射面において全反射条件を満足することができる。ただし、プリズム型裏面反射鏡の反射面の法線のレチクルRの法線に対する角度が75度を超えると、第1結像光学系と第3結像光学系との間または第2結像光学系と第4結像光学系との間でレンズ同士の機械的な干渉が起こり易くなるので好ましくない。

【0075】

また、第1光路折り曲げ鏡および第2光路折り曲げ鏡の双方を裏面反射鏡として構成することにより、2つの裏面反射面を互いに隣接して平行に配置することができる。この場合、第1結像光学系の光軸と第4結像光学系の光軸とが平行になり、第1結像光学系の光軸と第4結像光学系の光軸との横ズレ量が例えば1mm以下に小さく抑えられる。その結果、第1結像光学系および第4結像光学系を構成する光学部材を実質的に共通な単一光軸にしたがって配置することができ、ひいては光学系の組立調整が容易になり、装置搭載後の

光学系の安定性が向上する。

【0076】

上述の実施形態の露光装置では、照明装置によってレチクル（マスク）を照明し（照明工程）、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に露光する（露光工程）ことにより、マイクロデバイス（半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等）を製造することができる。以下、本実施形態の露光装置を用いて感光性基板としてのウェハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき図10のフローチャートを参照して説明する。

【0077】

先ず、図10のステップ301において、1ロットのウェハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウェハ上の金属膜上にフォトレジストが塗布される。その後、ステップ303において、本実施形態の露光装置を用いて、マスク上のパターンの像がその投影光学系を介して、その1ロットのウェハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ304において、その1ロットのウェハ上のフォトレジストの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウェハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウェハ上の各ショット領域に形成される。

【0078】

その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。なお、ステップ301～ステップ305では、ウェハ上に金属を蒸着し、その金属膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチングの各工程を行っているが、これらの工程に先立って、ウェハ上にシリコンの酸化膜を形成後、そのシリコンの酸化膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチング等の各工程を行っても良いことはいうまでもない。

【0079】

また、本実施形態の露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定のパターン（回路パターン、電極パターン等）を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、図11のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。図11において、パターン形成工程401では、本実施形態の露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィ工程が実行される。この光リソグラフィ工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レジスト剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程402へ移行する。

【0080】

次に、カラーフィルター形成工程402では、R（Red）、G（Green）、B（Blue）に対応した3つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、またはR、G、Bの3本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列されたりしたカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程402の後に、セル組み立て工程403が実行される。セル組み立て工程403では、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程403では、例えば、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

【0081】

その後、モジュール組み立て工程404にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として

完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

【0082】

なお、上述の実施形態では、露光装置に搭載される投影光学系に対して本発明を適用しているが、これに限定されることなく、他の一般的な結像光学系に対して本発明を適用することもできる。また、上述の実施形態では、ArFエキシマレーザー光源またはF₂レーザー光源を用いているが、これに限定されることなく、所定の波長光を供給する他の適当な光源を用いることもできる。

【0083】

また、上述の実施形態では、マスクおよび基板を投影光学系に対して相対移動させながら基板の各露光領域に対してマスクパターンをスキャン露光するステップ・アンド・スキャン方式の露光装置に対して本発明を適用している。しかしながら、これに限定されることなく、マスクと基板とを静止させた状態でマスクのパターンを基板へ一括的に転写し、基板を順次ステップ移動させて各露光領域にマスクパターンを逐次露光するステップ・アンド・リピート方式の露光装置に対して本発明を適用することもできる。

【0084】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明の結像光学系では、大きな開口数を有する反射屈折型の光学系における最大の課題である光路分離（光束分離）を物体側および像側の双方において十分な作動距離を保った状態で行うことができるので、真空紫外線波長域で比較的大きな開口数を有し、光学調整および機械設計が容易で、色収差を含む諸収差が十分に補正された、0.1 μ m以下の解像度を確保することができる。

【0085】

したがって、本発明の露光装置および露光方法では、諸収差が十分に補正されて0.1 μ m以下の解像度を有する反射屈折型の結像光学系を用いて、高解像で高精度な投影露光を行うことができ、ひいては良好なマイクロデバイスを製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の典型的な態様にしたがう結像光学系の基本的な構成を説明するための図である。

【図2】本発明の実施形態にかかる結像光学系を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図3】ウェハ上に形成される矩形状の露光領域（すなわち実効露光領域）と基準光軸との位置関係を示す図である。

【図4】本実施形態の第1実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。

【図5】第1実施例における横収差を示す図である。

【図6】本実施形態の第2実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。

【図7】第2実施例における横収差を示す図である。

【図8】本発明にしたがう結像光学系において第1光路折り曲げ鏡および第2光路折り曲げ鏡の双方をプリズム型裏面反射鏡として構成した例を示す図である。

【図9】図8の第1光路折り曲げ鏡および第2光路折り曲げ鏡の構成を拡大して示す図である。

【図10】マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法のフローチャートである。

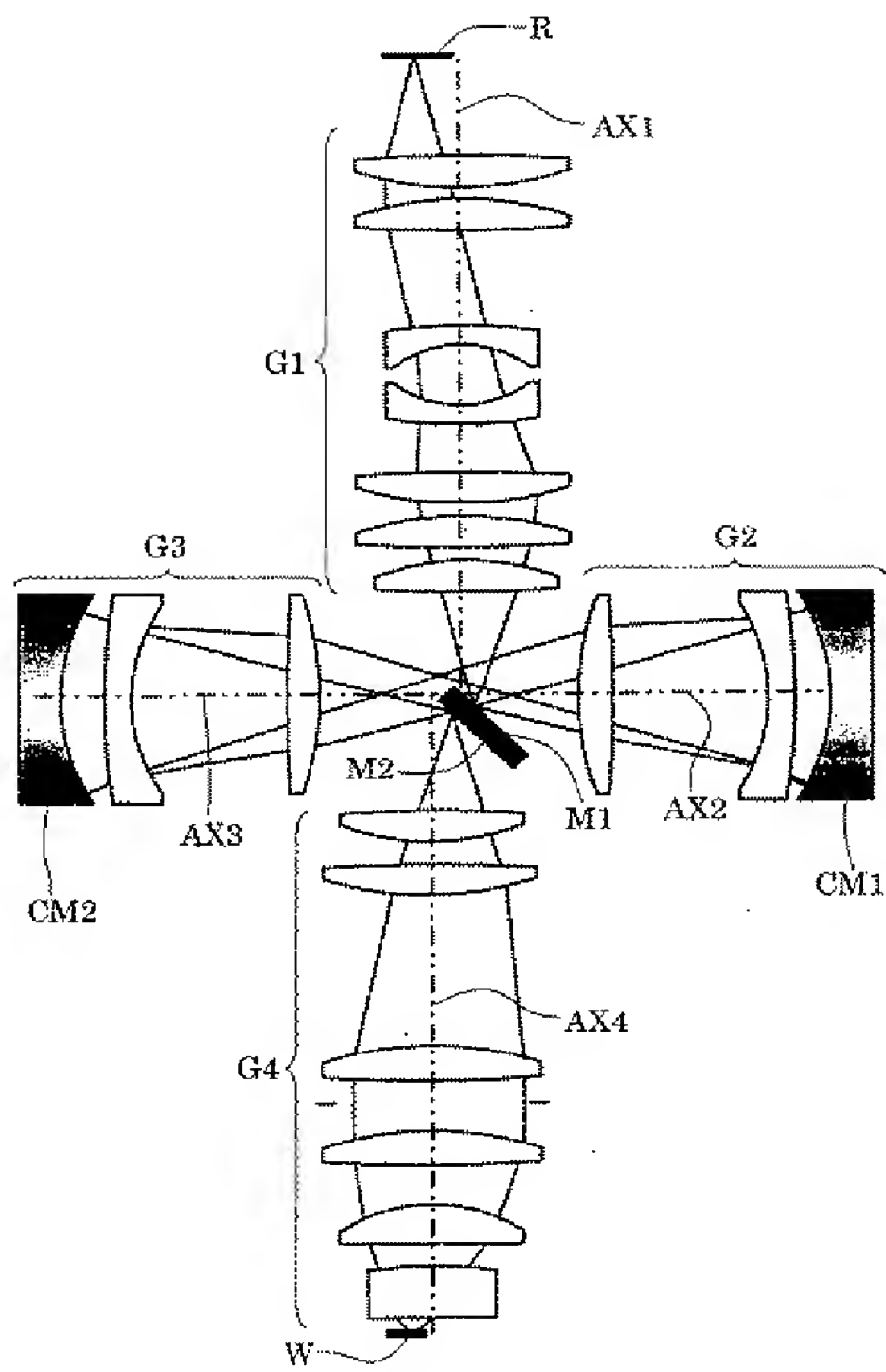
【図11】マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。

【符号の説明】

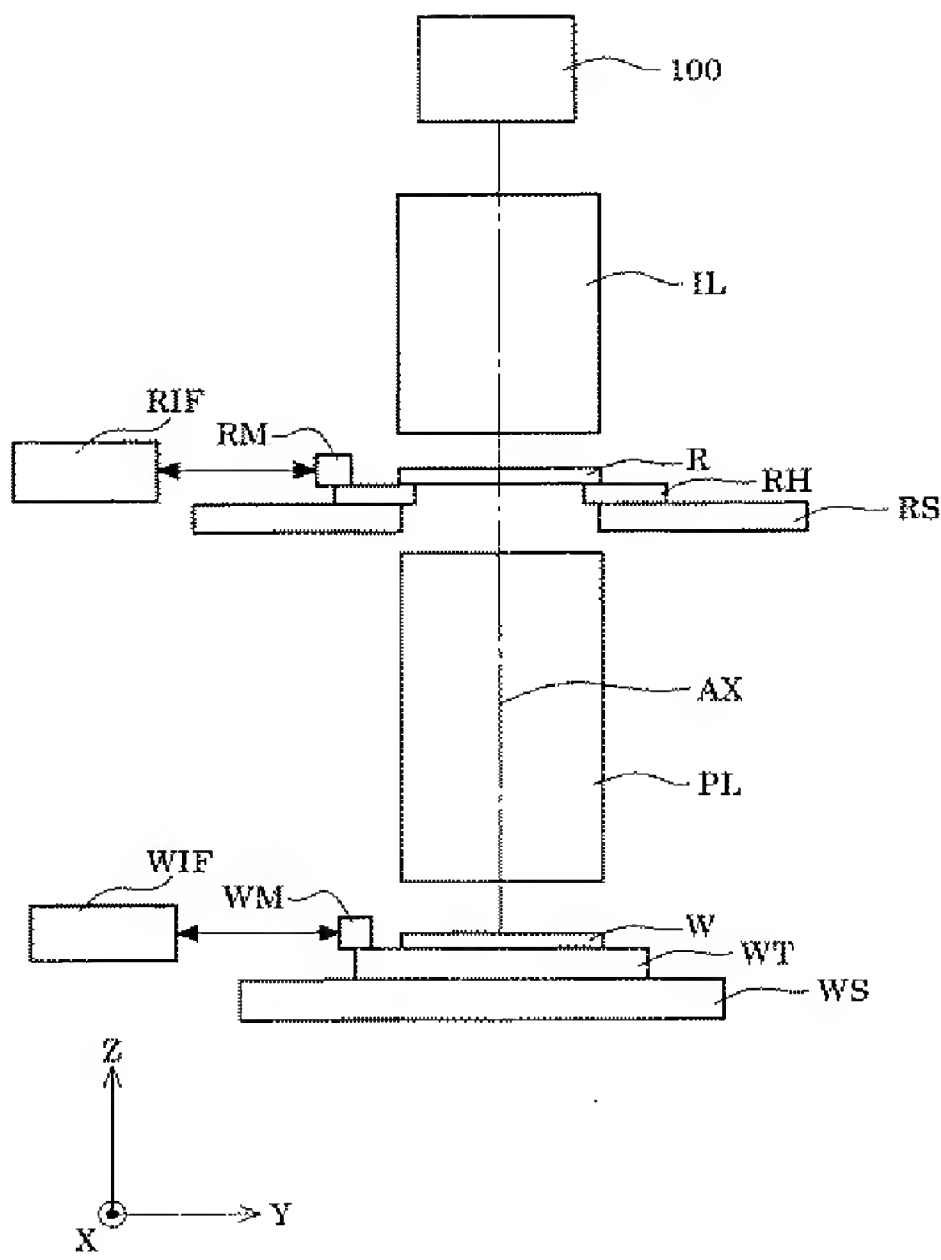
- G1 第1結像光学系
- G2 第2結像光学系
- G3 第3結像光学系
- G4 第4結像光学系

- CM1 第1凹面反射鏡
- CM2 第2凹面反射鏡
- M1 第1光路折り曲げ鏡
- M2 第2光路折り曲げ鏡
- 100 レーザ光源
- IL 照明光学系
- R レチクル
- RS レチクルステージ
- PL 投影光学系
- W ウェハ
- WS ウェハステージ

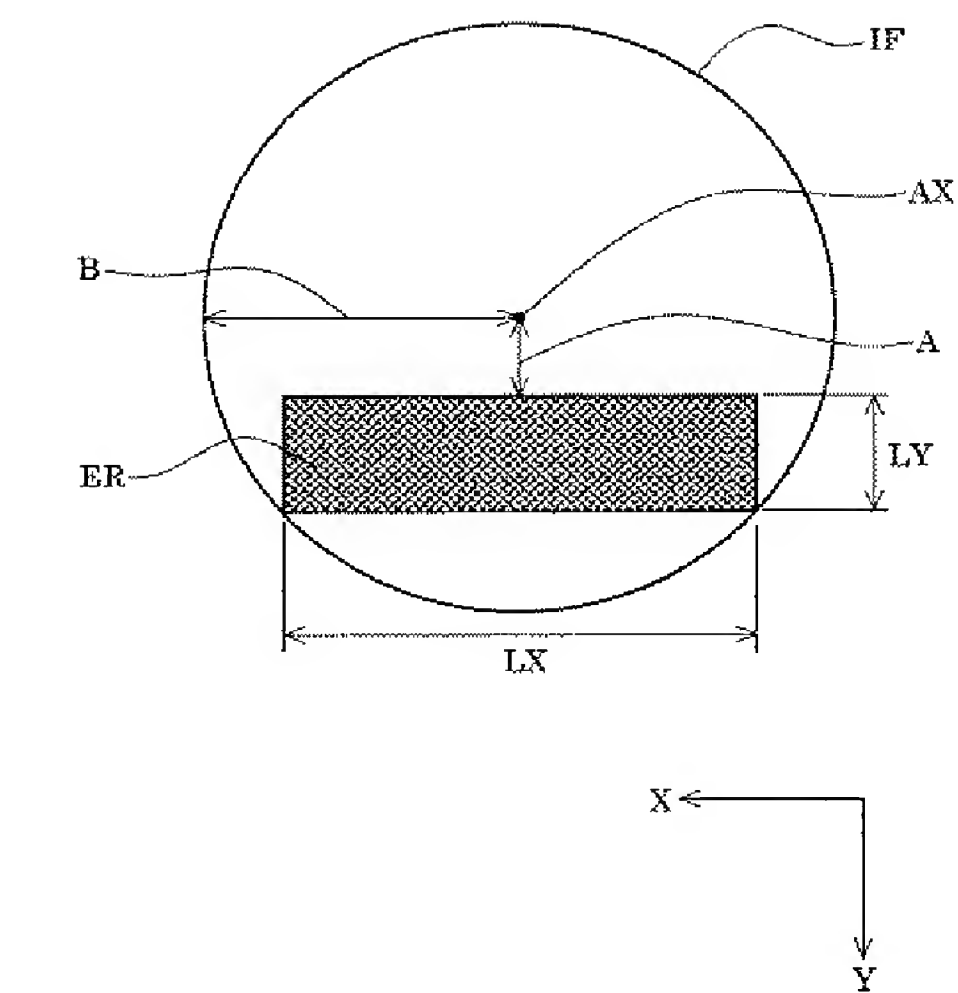
【図1】



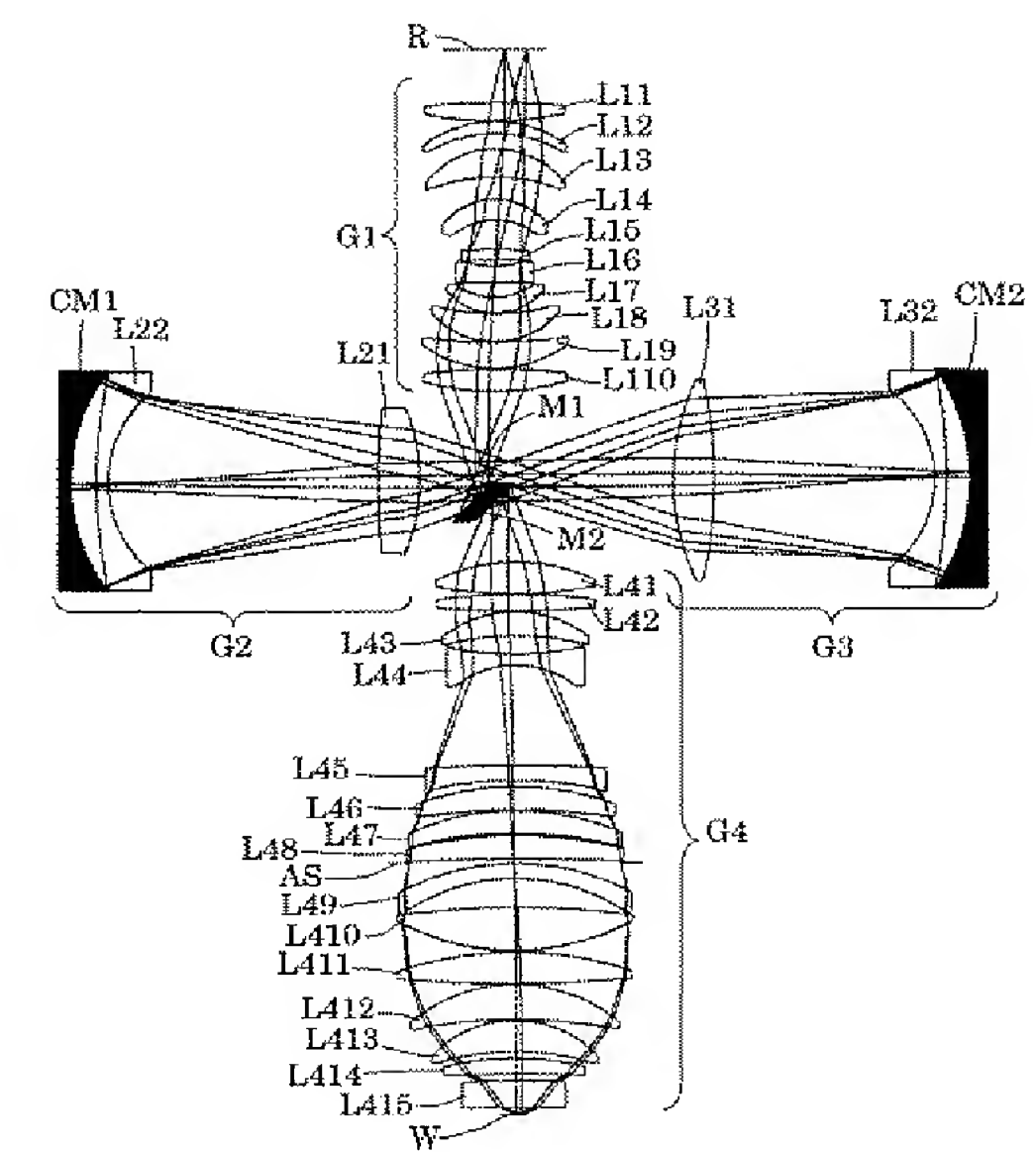
【図2】



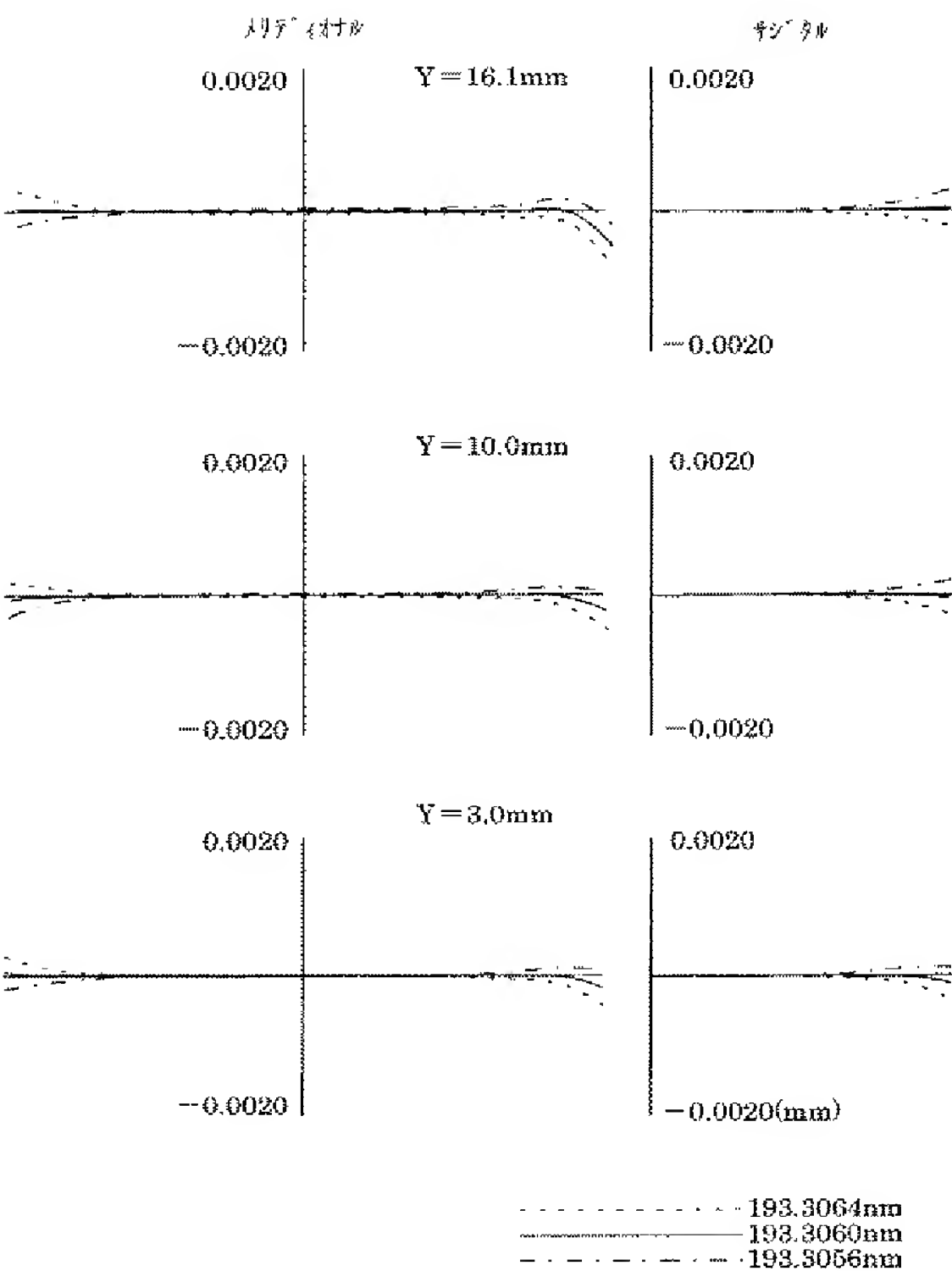
【図3】



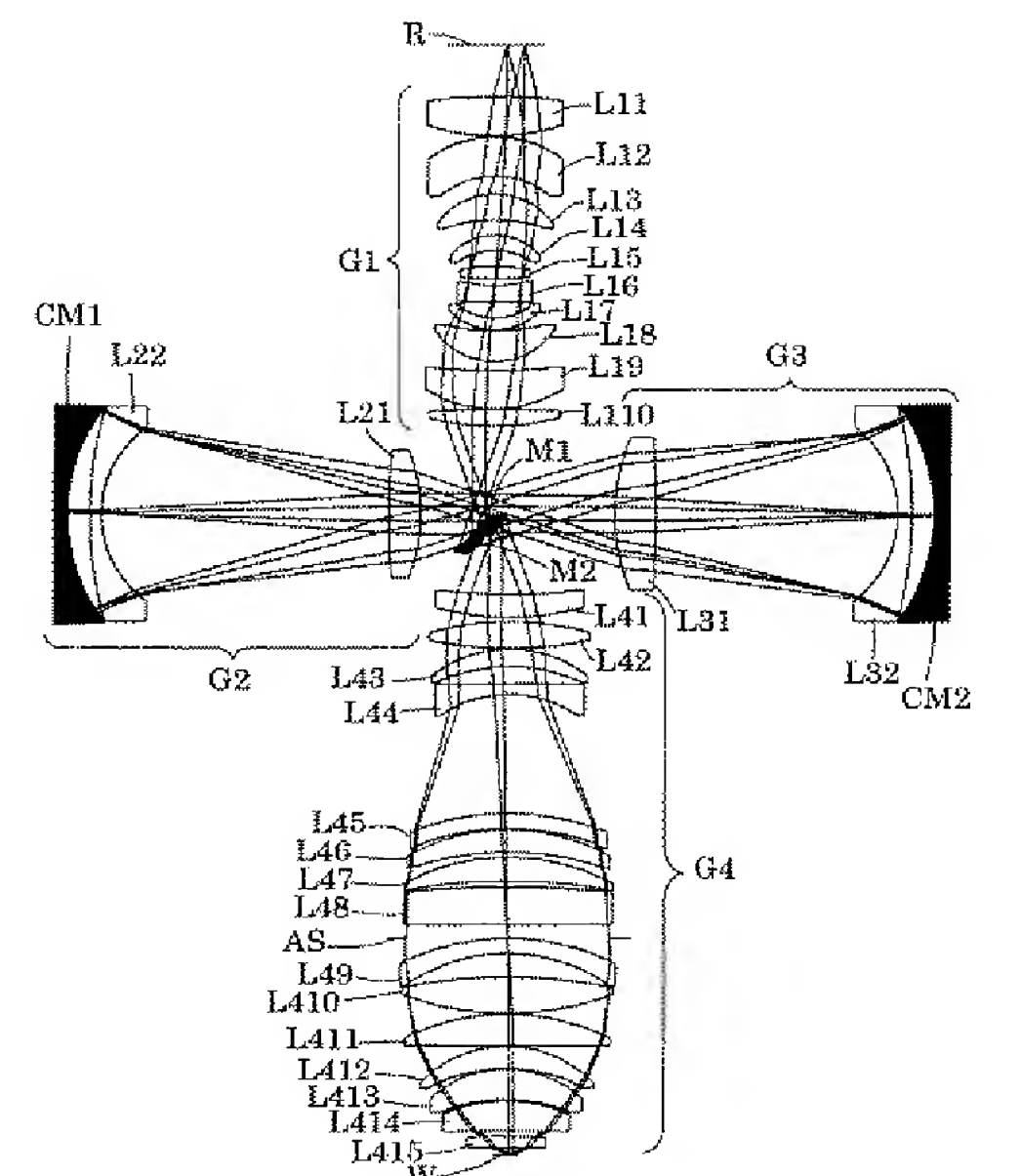
【図4】



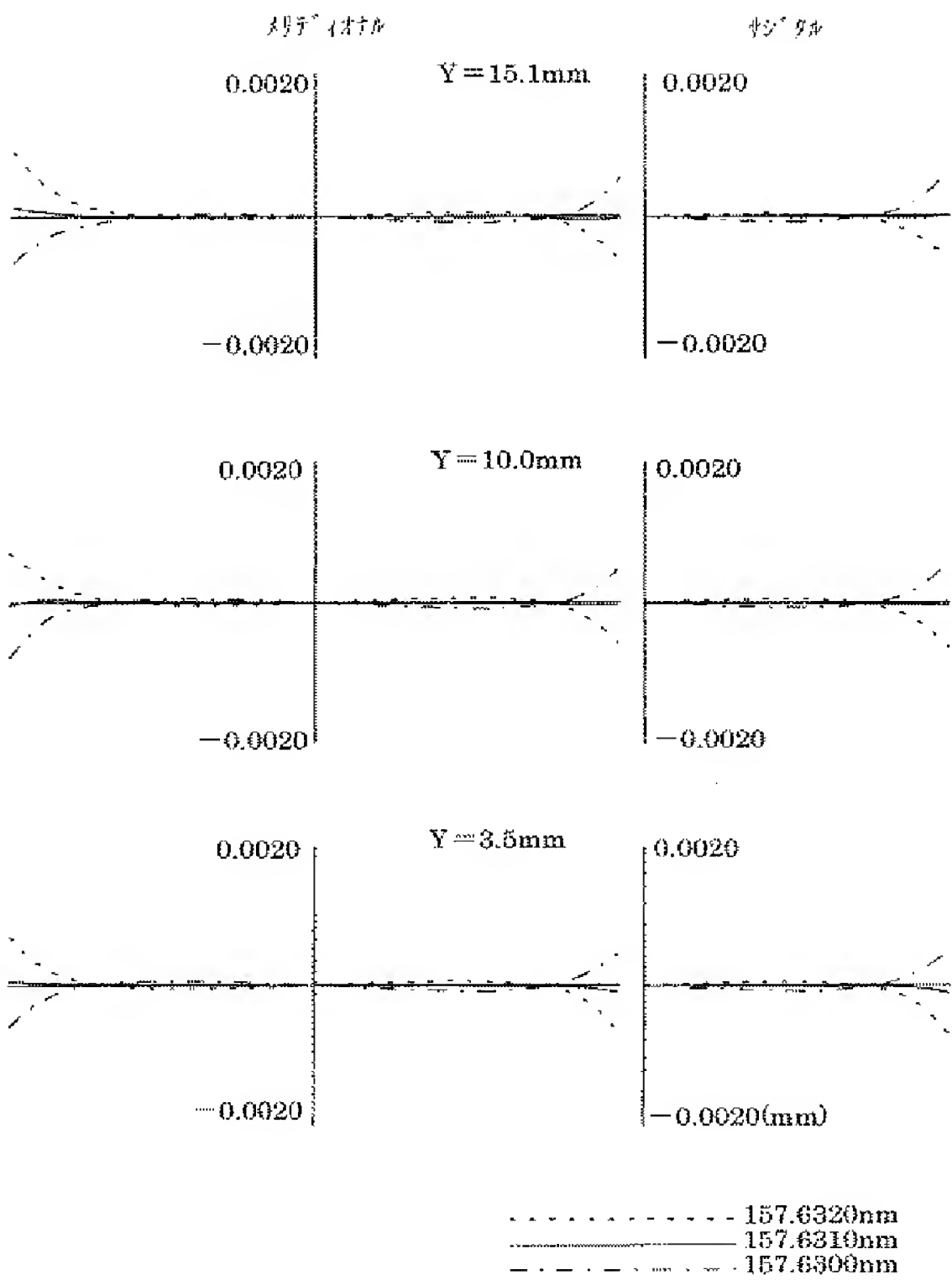
【図5】



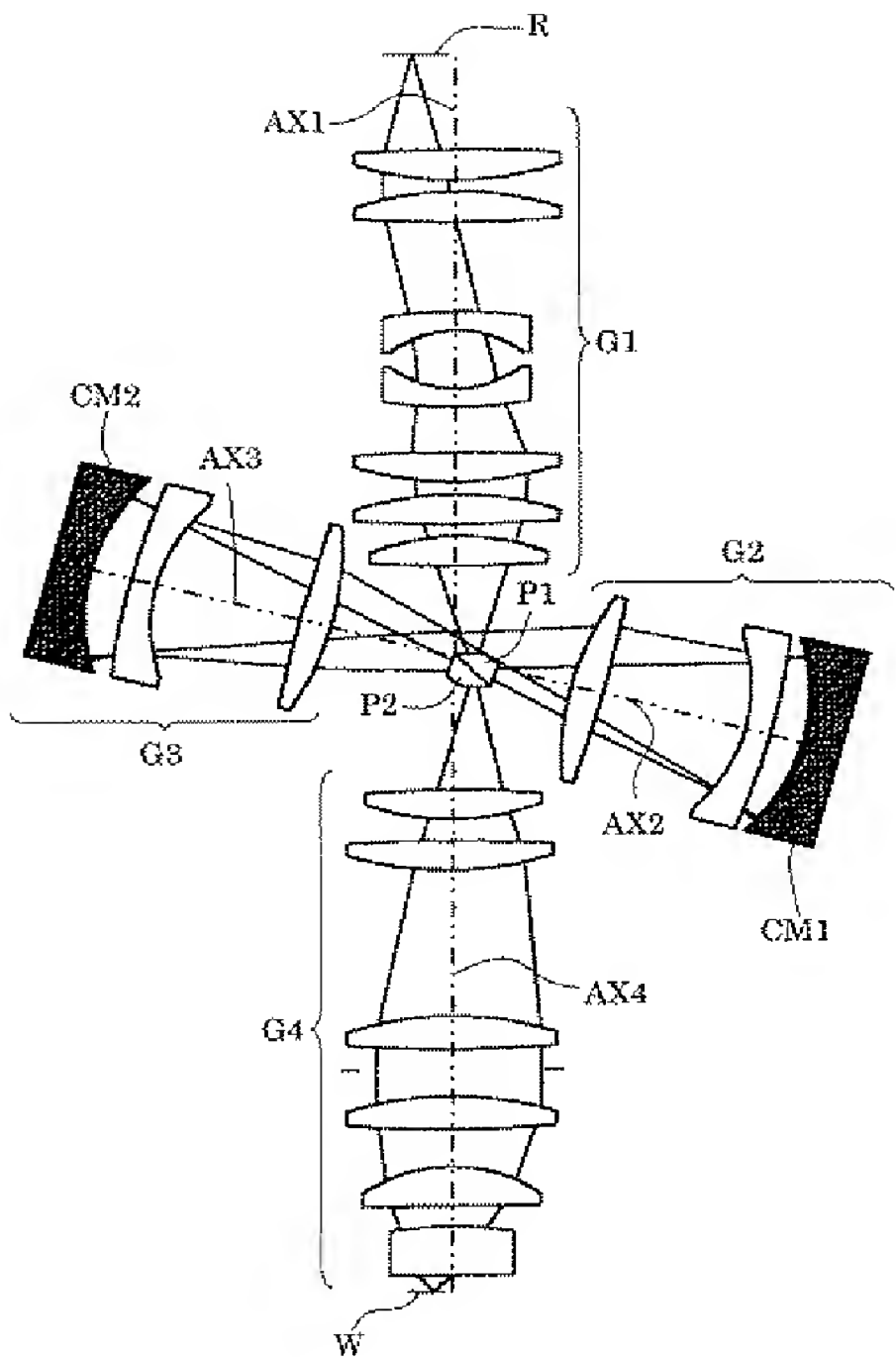
【図6】



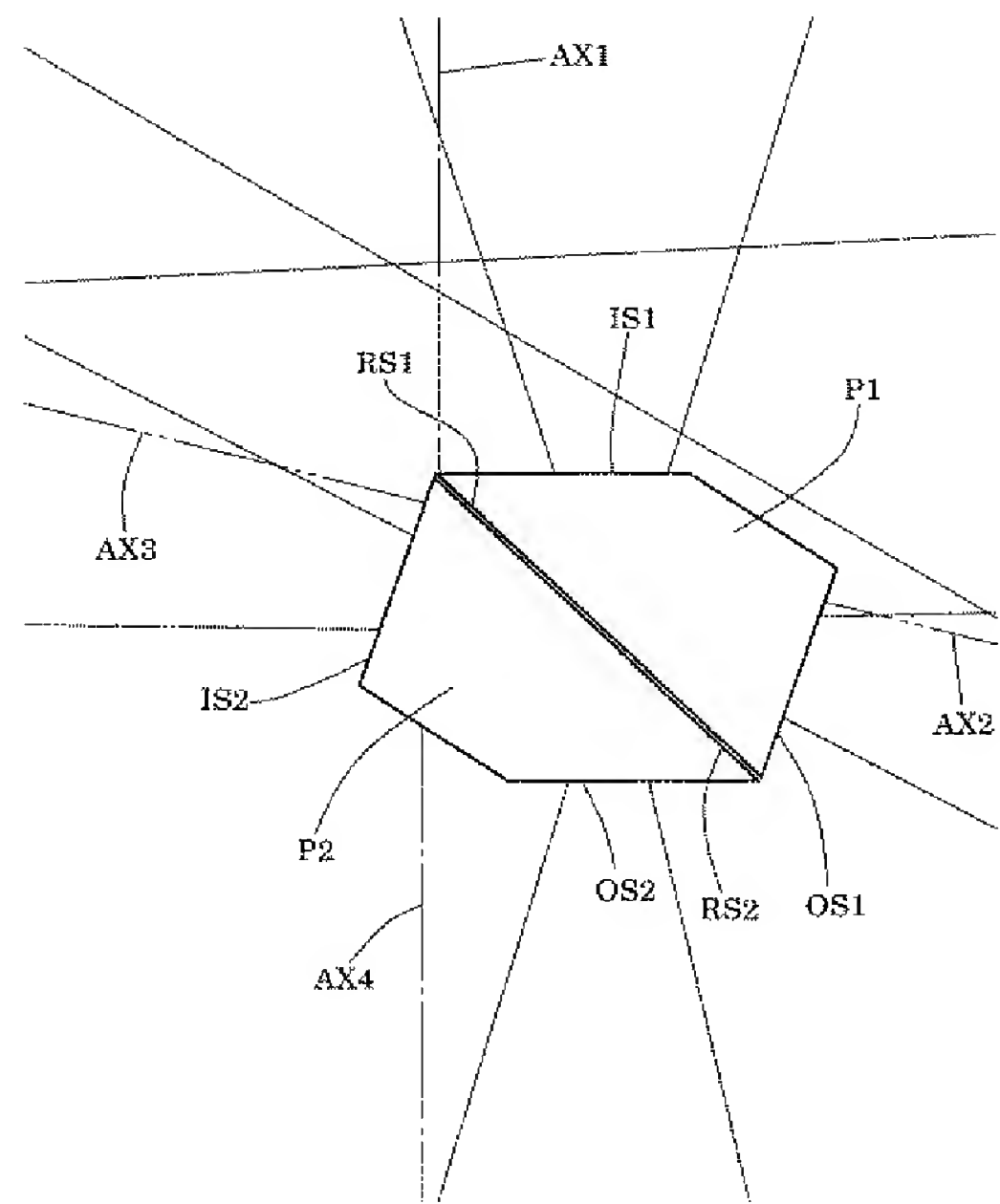
【図7】



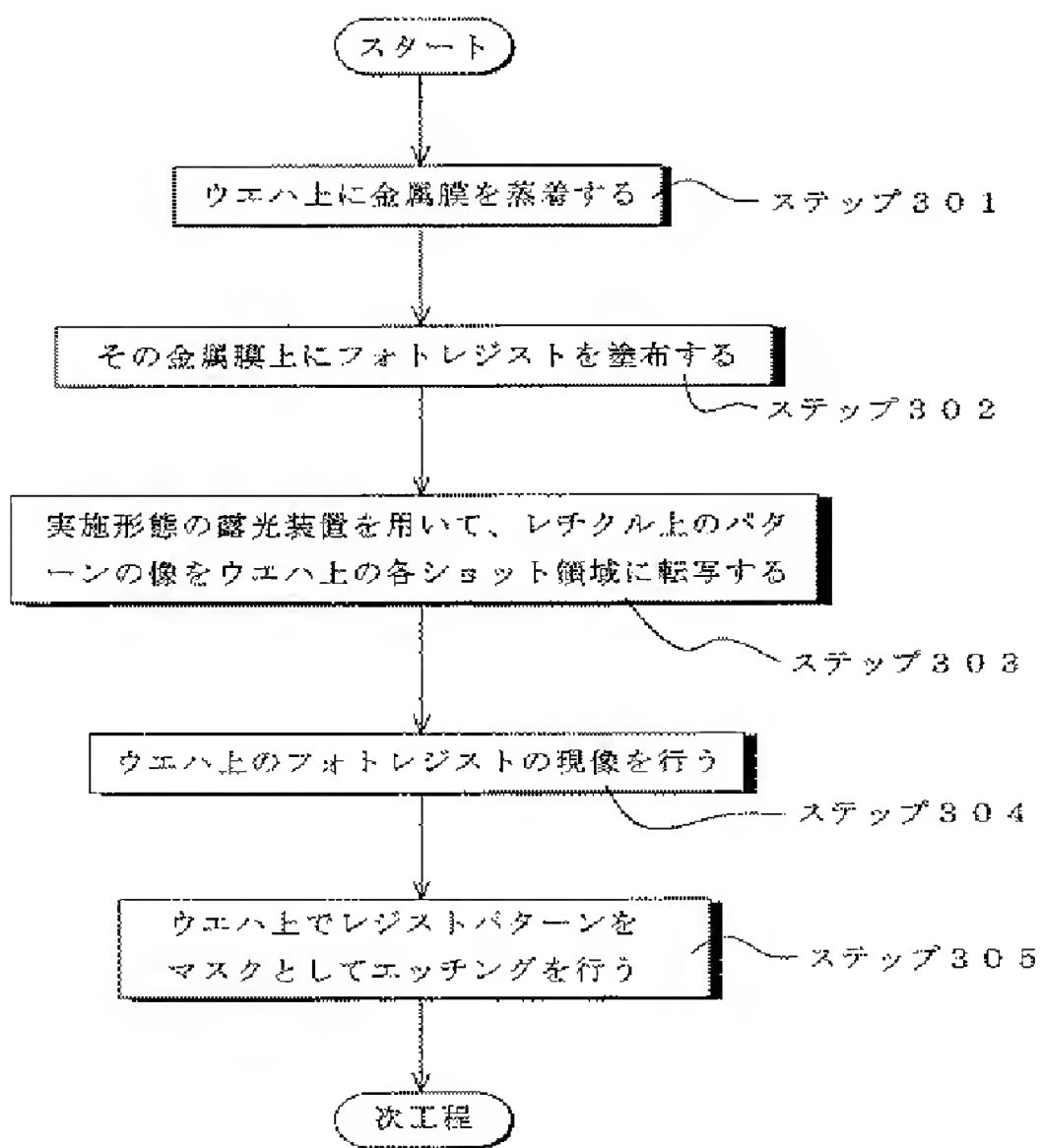
【図8】



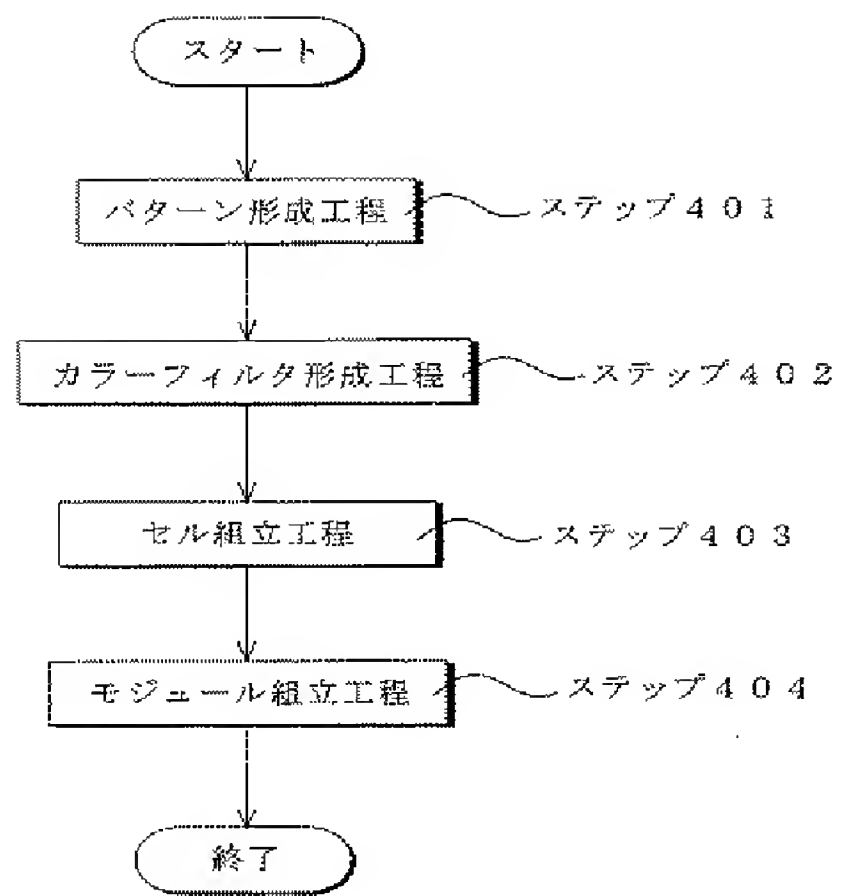
【図9】



【図10】



【図11】



(51)Int.Cl.⁷

F I

テーマコード (参考)

H 0 1 L 21/30 5 1 5 D